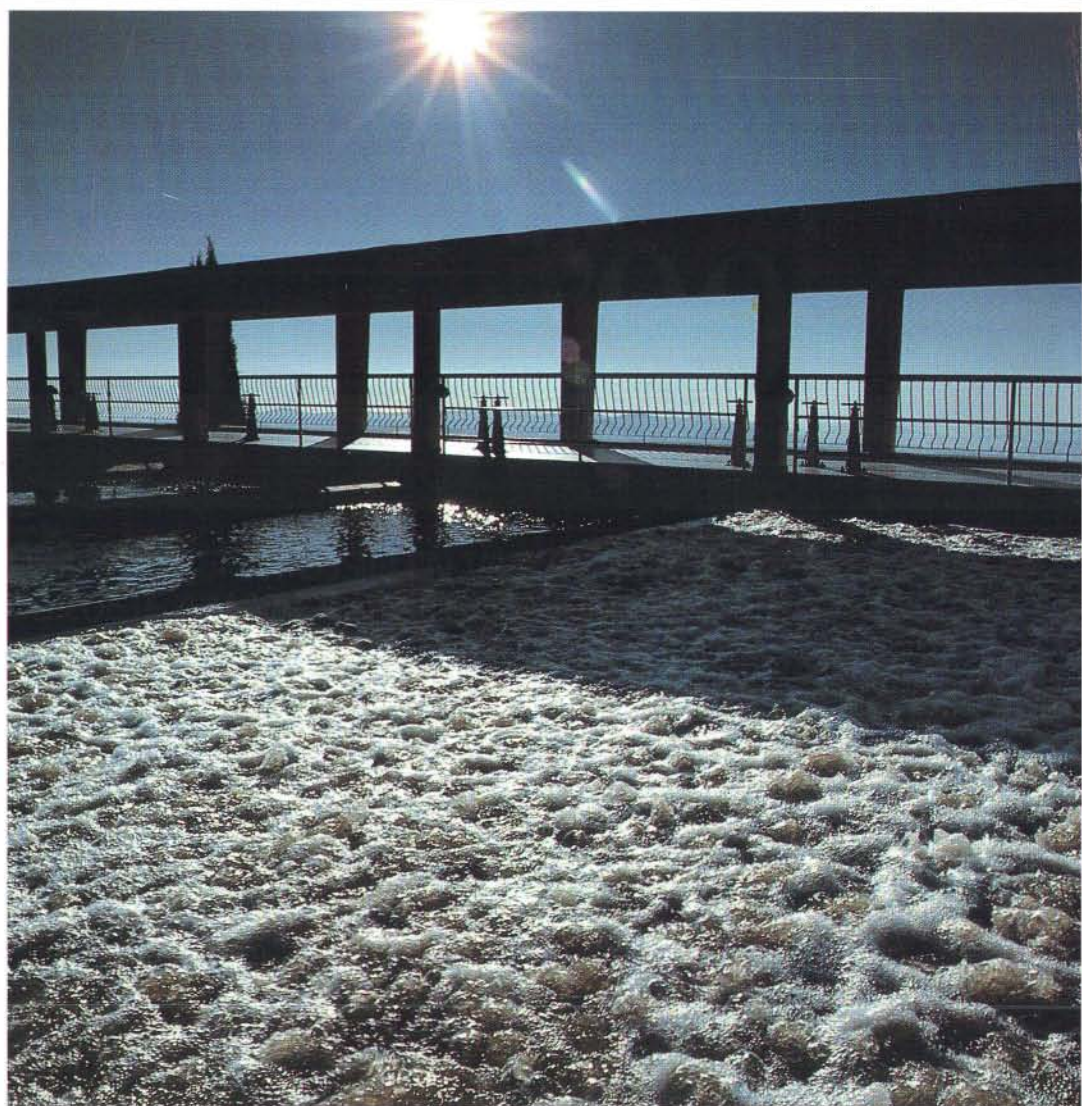


6 | 58^e jaargang

NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



DRINKWATER/ FOSSIELEN VAN DE ZUIDERZEE/BROMELIA'S/
DE ZOETE AANVAL/PLANETEN/MILIEUNORMEN

ASTMA. ERGER DAN U DENKT.

CARA (astma, bronchitis en emfyseem) is de meest voorkomende ziekte in ons land.

Dankzij uw steun is er belangrijke vooruitgang geboekt in de behandeling van CARA. Daardoor is het leven van veel patiënten verbeterd. Dat geldt helaas slechts in beperkte mate voor patiënten met een ernstige vorm van CARA.

CARA wordt nog steeds ernstig onderschat

De sterfte als gevolg van CARA blijkt veel hoger te zijn dan tot voor kort werd gedacht. De geregistreeerde sterfte steeg sedert 1980 met 36% en is nu driemaal zo hoog als het aantal verkeersdoden.

Dat mag zo niet doorgaan

CARA is echt een ernstige ziekte die nog steeds niet te genezen is. Daarom moet de strijd tegen deze volksziekte met kracht worden voortgezet.

Uw hulp is onmisbaar

Geef gul aan de collectant of maak uw bijdrage over aan

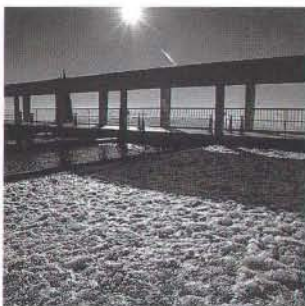


Astma Fonds
Giro 55055
bank 70.70.70.120

NATUUR '90 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

De filters van een drinkwaterzuiveringsinstallatie hebben regelmatig zelf een reinigingsbeurt nodig. Hier worden ze gespoeld. In het artikel op pag. 452 e.v. vindt u via welke kunstgrepen verontreinigd bodem- of oppervlaktewater toch nog een glas helder drinkwater kan opleveren. Hoe verontreinigd ons milieu mag zijn, leest u op pag. 500 e.v.

(foto: Lyonnaise des eaux, Parijs)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,
Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretaresse: R.A. Bodden-Welsch.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 04759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg,

A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.). Tel.: 04754-81223.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België:

Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044.

Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044 (tot 21.00 uur, óók in het weekend).

EURO
ARTIKEL



Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

SIMULATICA/Lissajous-figuren	IV
BOEKEN	VI
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Onzekeerheid	439

WATERSCHIP EN VENTJAGER

440

Fossielen van de Zuiderzee

R. Reinders en R. Oosting

Visserij was langs de kust van de Zuiderzee een belangrijke bron van inkomsten. Haring, bot, paling, ansjovis en spiering waren de voornaamste vissoorten. In de late Middeleeuwen viste men langs de oostkust ook op steur. Over de schepen van de 19e en de 20e eeuw is veel bekend: botters, bonsen, schokkers en pluten zijn nog steeds in de vaart. Onze kennis over oudere vissersschepen is daarentegen beperkt. Dankzij opgravingen in de IJsselmeerpolders kennen we er enkele, zoals een waterschip en een ventjager.



DRINKWATER

452

Bereid met beleid

A. Graveland

Telkens weer draaien wij achteloos de waterkraan open en dicht. Het kristalheldere kraanwater gebruiken we vervolgens om te koken, te drinken, in te baden, mee te wassen en aan de planten te geven. Maar weinig mensen staan stil bij de moeite die waterleidingbedrijven doen om ons steeds weer water te leveren. De toenemende waterverontreiniging maakt het er voor hen niet gemakkelijker op. Dankzij de combinatie van techniek, biologie en chemie lukt het nog altijd om gezond, smakelijk water te leveren.



BROMELIA'S

464

Oerwoud achter glas

G.L.J.H. Samyn

Bromelia's werden zo'n honderdvijftig jaar geleden als sierplant in Europa geïntroduceerd. Stap voor stap krijgt men nu weet van de uiteenlopende fysiologische eigenschappen die de soorten tijdens hun evolutie hebben ontwikkeld. Eigenschappen waarmee de vele bromeliakwekers terdege rekening moeten houden. Nu met het regenbos ook de biotoop van de bromelia's wordt bedreigd, loopt hun natuurlijke evolutie gevaar, maar dankzij de wetenschap worden ze betrokken in een nieuwe evolutie – die van de teeltoptimalisatie.



NATUUR '90 & TECHNIEK

juni/ 58^e jaargang/1990



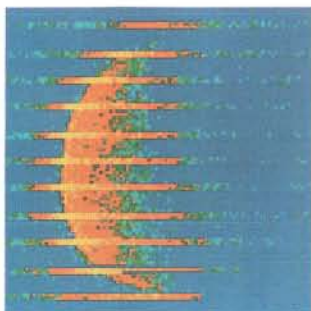
DE ZOETE AANVAL

Suiker in het lichaam

Anna J. Furth

Tegenwoordig eten we ongeveer tien maal meer suiker dan pakweg tweehonderd jaar geleden. Het zou dan ook niet verwonderlijk zijn als dat nadelige gevolgen voor ons heeft. Gedurende de evolutie van de mens was het immers hoogst ongewoon dat er herhaaldelijk vanuit de darmen een toevloed van verteerde suikers naar het bloed plaatsvond. En dat gebeurt nu juist wél bij de talrijke koolhydraatrijke tussendoortjes die we tegenwoordig zo graag nuttigen.

476



PLANETEN

Bezoek aan verre bureu

Govert Schilling

Minder dan dertig jaar geleden werden de eerste schuchtere pogingen gedaan om de andere planeten in ons zonnestelsel van nabij te onderzoeken met behulp van onbemande ruimtevaartuigen. Met de succesvolle vlucht van Voyager 2 langs de verre planeet Neptunus werd dit pionierstijdperk afgesloten. Het planeetonderzoek heeft verrassende inzichten opgeleverd over ontstaan en evolutie van het zonnestelsel, en astronomen zijn nu in staat de bonte verscheidenheid van de planeten te verklaren.

486



DE NORM VOOR EEN GEZOND MILIEU

B. Brunekreef

Met grote regelmaat vestigen de media onze aandacht op de gevaren van milieuverontreiniging voor de volksgezondheid. De risico's van het wonen op 'gifgrond', het optreden van 'zomersmog' en het voorkomen van dioxine in zuivelprodukten uit de omgeving van vuilverbrandingsinstallaties zijn slechts enkele voorbeelden uit een lange reeks. Niet zelden is de verontrusting gebaseerd op het gegeven dat 'de norm' is overschreden of dreigt te worden overschreden. In dit artikel wordt de totstandkoming van 'normen' nader belicht.

500

ANALYSE EN KATALYSE

Een venster op de wetenschap/
Een experiment met gentherapie

512

BEZIENSWAARDIG

520

ACTUEEL

522

PRIJSVRAAG

525

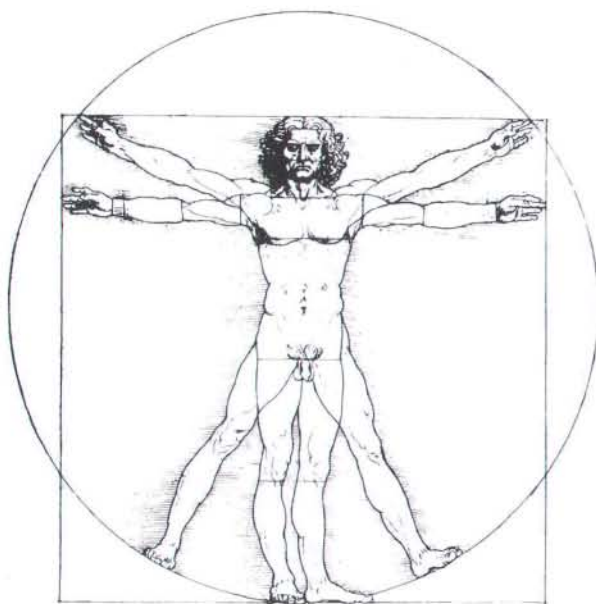
SIMULATICA

Prof dr
H. Lauwerier

Lissajousfiguren

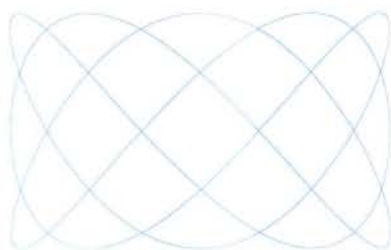
Natuurkundige experimenten hebben altijd iets fascinerends, vooral wanneer met eenvoudige hulpmiddelen verrassende resultaten worden verkregen. De Franse fysicus Jean B.L. Foucault maakte grote indruk op zijn tijdgenoten,

einde van een slinger te voorzien van een schrijfstift. Dit is echter een moeizaam werkje. Het is dan ook gebruikelijk het experiment te simuleren op een elektronenstraaloscillograaf. De computer in de huiskamer kan het beschreven experiment op uiterst een-



Bij de weergave van de ideale proporties van de mens paste Leonardo da Vinci de gulden snede verhouding toe (tekening: Accademia, Venetië).

toen hij in 1851 met zijn in het Parijse Pantheon opgehangen slinger de aswenteling van de Aarde kon aantonen. Een aantal jaren later (1857, 1858) bestudeerde een andere Franse fysicus, Jules-Antoine Lissajous, een slinger die tegelijkertijd deelneemt aan twee verschillende slingerbewegingen. Men zou zich kunnen voorstellen dat een Parijse kwajongen de slinger van Foucault een dwars duwtje had gegeven. We kunnen het experiment van Lissajous modelleren door in het x,y-vlak een punt zowel aan een horizontale harmonische beweging, $x = a \cos(\alpha t)$, als aan een verticale beweging, $y = b \cos(\beta t)$, te laten deelnemen. Er is voor dit experiment niet veel meer nodig dan het uit-



voudige wijze uitvoeren en variëren. Eigenlijk doen we hetzelfde als wat vroeger de natuurkundedocent deed, want de plaatjes op het beeldscherm zijn eveneens het resultaat van heen en weer schietende elektronenstralen. Alvorens de computer aan het werk te zetten, passen we het wiskundige model een weinig aan. Omdat de tijdschaal willekeurig gekozen kan worden nemen we $\beta = 1$. Ook de lengteschaal is vrij en daarom kiezen we $b = 1$. Aan de verticale beweging voegen we nog een fase f – een getal tussen 0 en 1 – toe, zodat het te simuleren experiment beschreven kan worden door:
 $x = a \sin(\alpha t)$, $y = \sin(t + f)$
De grootte van de amplitude a kan ook gelijk aan 1 zijn, omdat de keuze van a slechts de horizontale schaal beïnvloedt. Om esthetische redenen hebben we in het onderstaande programma $a = 1,618$, het gulden-snedegetal $(1 + \sqrt{5})/2$, gekozen. Bij de experimenten komt het vooral aan op de waarde van α , de verhouding van de horizontale en de verticale frequentie. Wanneer α een eenvoudige breuk is als 3/5 ziet de Lissajous-figuur er fraai uit. De waarde van f is wat minder belangrijk, men zou zich in eerste instantie kunnen beperken tot $f = 0$ en


```

10 REM ***FIGUUR VAN LISSAJOUS***
20 REM ***NAAM:LISSA***
30 SCREEN 9 : CLS
40 WINDOW (-2,-1.5)-(2,1.5)
50 PI=3.1415923# : H=PI/100
60 AMPL=1.618
70 PRINT"KIES DE FREQUENTIE ALS EEN BREUK VAN TWEE GEHELE
  GETALLEN M,N"
80 PRINT"NEEM M < N , BIJV. M=8 EN N=13 OF M=34 EN N=55"
90 INPUT"M = " ,M : INPUT"N = " ,N
100 PRINT"KIES DE FASE ALS EEN GETAL TUSSEN 0 EN .5"
110 PRINT"NEEM BIJV. 0 OF .25"
120 INPUT"FASE = " ,FASE
130 FREQ=M/N : F=FASE*2*PI
140 CLS : PSET (0,SIN(F))
150 FOR K=0 TO 200*N : T=K*H
160 X=AMPL*SIN(FREQ*T) : Y=SIN(T+F)
170 LINE -(X,Y)
180 NEXT K
190 BEEP : A$=INPUT$(1) : END

```

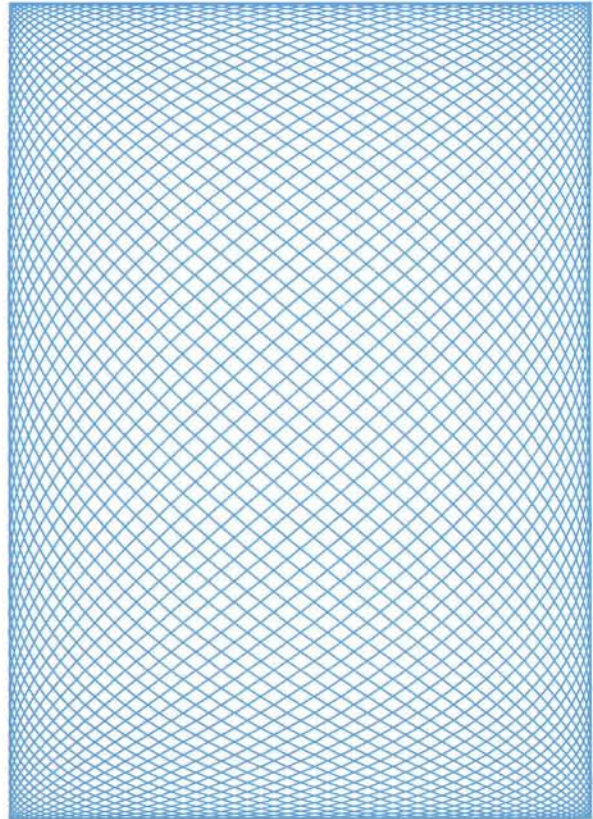
*Voor $m = 34$ en
 $n = 55$ vult het
programma
LISSA een vlak
zeer gelijkmatig.*

$f = 1/4$. Uit de formules volgt dat de Lissajous-figuur altijd opgesloten zit in de rechthoek met hoekpunten $(\pm a, \pm 1)$. Als α een rationale breuk is, sluit de Lissajous-figuur zich. Wanneer α daarentegen een onmeetbaar getal is, bijvoorbeeld $\sqrt{2}$ of het gulden-snedegetal, blijkt de Lissajous-kromme alsmaar door te lopen totdat de rechthoek overal gevuld is. Hiermee bedoelen we dat elk punt van de rechthoek óf op de Lissajous-kromme ligt óf een limietpunt van de kromme vormt.

Het programma LISSA behoeft weinig commentaar. Het aantal tijdstappen is zodanig gekozen dat de Lissajous-kromme aan het eind van de herhalingscyclus compleet is. Wie dit programma probeert, doet er verstandig aan te beginnen met eenvoudige waarden voor de frequenties m en n , en voor de fase f de waarde $1/4$ te nemen, wat neerkomt op $f = \pi/2$ zodat $y = \cos(t)$. De eenvoudigste keuze $m = 1$, $n = 1$ geeft een ellips, voor $m = 1$, $n = 2$ is de Lissajous-kromme een boog van een parabool. Mooie plaatjes krijgt men wanneer m en n teller en noemer zijn van benaderende breuken van het gulden-snedegetal. Men kan deze vinden door twee opeenvolgende getallen te kiezen uit de bekende rij van Fibonacci:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, ...

Uit een afbeelding van de Lissajous-kromme voor $m = 3$, $n = 5$ kunnen deze getallen overigens gemakkelijk worden afgelezen als het aantal 'heuvels' aan de rand in horizontale en in verticale richting. De Lissajous-figuur voor $m = 34$, $n = 55$ (en $f = 1/4$) toont een mooie regelmatige vulling van de rechthoek. Die regelmaat hangt samen met het feit dat de breuk $55/34 = 1,618$ een benaderende breuk is van het gulden-



snedegetal. Een betere benadering met een kleinere noemer bestaat niet.

De programma's in de rubriek SIMULATICA zijn beschreven voor de basic-versie bij diverse MS-DOS computers. Bezitters van een Apple Macintosh kunnen de programma's, eventueel na enkele aanpassingen, uitvoeren met behulp van Quick Basic of Turbo Basic.

De ogen van de sfinx

Erich von Däniken, De ogen van de sfinx, 319 blz., f 39,90/795 BF. Gebonden, geïllustreerd. CIP/ISBN 90 218 0192 2. Luitingh- Sijthoff, Utrecht.

'O, Egypte! Egypte!
Van jouw kennis
zijn slechts fabels overgebleven
die latere generaties
nauwelijks kunnen geloven.'

Met dit citaat begint het het nieuwe boek van Erich von Däniken, dat de intrigerende naam *De ogen van de sfinx* heeft meegekregen. Een boek waarin Von Däniken andermaal probeert bewijzen te vinden van de aanwezigheid van buitenaardse wezens in ons verre verleden.

Erich von Däniken debuteerde in 1968 met het boek *Waren de goden kosmonauten*. Miljoenen exemplaren van dit boek gingen over de toonbank.

Enige jaren geleden heeft Von Däniken zich op het oude Egypte gestort. In vier hoofdstukken onderzoekt de detective Von Däniken enige raadsels waarop hij tijdens zijn onderzoek stuitte.

Het eerste hoofdstuk gaat in op de mummies die in Egyptische ruïnes zijn aangetroffen. Miljoenen gemummificeerde ibissen, krokodillen, vissen, enz. Von Däniken vraagt zich in eerste instantie af waarom nergens de mummies van stieren zijn gevonden. Zijn ze er nooit geweest? Zijn ze weggehaald? En waarom vond men in deze graven een massa van stinkende bitumen met daarin de botten van wel zeven verschillende dieren?

Op het eerste gezicht lijkt Von Däniken te willen schrijven over zijn reizen naar Egypte, en de vele wonderen die hij daar heeft gezien te willen toetsen aan de verslagen van historische figuren als Herodotus en Diodorus.

Aan het eind van het eerste

hoofdstuk, als de schrijver verder ingaat op sfinxen, blijkt echter dat hij ook hier mogelijke bewijzen vindt dat bezoekers uit de ruimte het oude Egypte met een bezoek hebben vereerd en kundige genetische manipulators waren. Overigens meen ik te weten dat de Minotaurus het hoofd van een stier had en het lichaam van een mens, in plaats van omgekeerd zoals het boek vermeldt. In de drie volgende hoofdstukken genaamd *Het verdwenen labyrint*, *Het naamloze wereldwonder* en *De ogen van de sfinx* gaat Von Däniken op soortgelijke wijze te werk. Allereerst verzamelt hij alle gegevens en vragen, waarna hij een hypothese opstelt die voor de meest onverklaarbare vragen een mogelijke oplossing geeft.

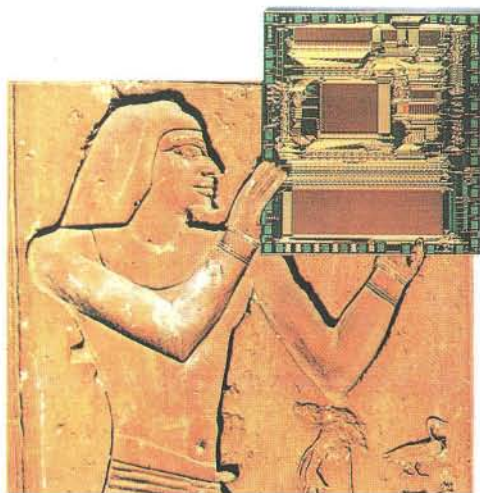
Diverse raadsels en verklaringen zijn niet alleen interessant voor geïnteresseerden in het oude Egypte. Wat te denken van de chemische fabricage van de bouwstenen van de piramiden en het patent op een piramide waarin scheermesjes scherp blijven.

Erich von Däniken beschikt over een zeer populaire schrijfstijl. Voor de liefhebber van oudheidkundige raadsels heeft hij weer een interessante selectie aan zijn

oeuvre toegevoegd. En passant maakt hij reclame voor de Ancient Astronaut Society, een ideële stichting zonder winstoogmerk die tracht te bewijzen dat de aarde in prehistorische tijden is bezocht door wezens uit de ruimte of dat de huidige technologische beschaving op onze planeet niet de eerste is. Deze stichting organiseert onder meer archeologische expedities onder leiding van Von Däniken.

De ogen van de sfinx is geen reisverslag, oudheidkundig naslagwerk of filosofische verhandeling. Het is van alles een beetje. Dankzij de vlotte pen waarmee het geschreven is, en ondanks de rommelige opbouw van de tekst, lijkt mij dit boek welkomme vakantielectuur. Bovendien zijn diverse hypothesen interessant genoeg om er een flinke boom over op te zetten. *De ogen van de sfinx* is prachtig geïllustreerd. De amateurfotograaf Rudolf Eckhardt is met de auteur meegereisd en heeft schitterende opnamen gemaakt van sfinxen en piramiden. De foto's zijn de moeite van het bekijken waard. Maar of de lezer veel waarde moet hechten aan de hypothesen van Von Däniken...?'

Erick Vermeulen



Mens in dimensie

David Pelham, *Mens in dimensie*, Amsterdam: Uitgeverij Ploegsma. Drie-dimensionale wandplaat met register. f 54,90 of 1090 BF. ISBN 90 216 1471 5. Distributie in België door C. de Vries-Brouwers pvba, Antwerpen.

Een bijna levensgrote drie-dimensionale afbeelding van de mens, met een groot aantal spieren, botten, aderen en organen die bovendien ook nog in een apart register zijn vermeld.

Na het lezen van deze informatie en het zien van de prijs vraag ik mij af wat ik van dit produkt moet verwachten; hoe realiseert de uitgever voor zo'n bedrag een duidelijke en nog wel ruimtelijke afbeelding van de mens?

Na opening van het pakket blijkt de wandplaat te bestaan uit een in vieren gevouwen plaat. Bij het openen van het geheel ontvouwt het bovenlichaam zich en verschijnt direct de drie-dimensionale mens. In feite is het een platte afbeelding van de mens — van kop tot teen — met daaraan een wirwar van kleurige kartonnetjes gehecht, die bij openklappen het hoofd en de romp vormen. De rechterkant van deze kartonnen mens (voor de toeschouwer links) toont beenderen en bloedvaten, terwijl de andere zijde van de plaat de spieren laat zien.

Zes stevige kartonnen rechthoeken moeten de wandplaat aan de achterkant spalken. Daarna kan de plaat aan de muur worden gehangen. Ik adviseer kopers die deze plaat niet meer opvouwen en wegbergen om de bovenste kartonnen spalk goed aan de wandplaat te lijmen; die dreigt na enige tijd namelijk aan de bovenkant om te krullen.

Bij het aanschouwen van het resultaat van vijf minuten noeste arbeid raak ik onder de indruk van de kunsten van 'paper-engineer' David Pelham, die weder-



om heeft bewezen een zeer veelzijdig ontwerper te zijn. De rechterborstkas toont de ribben die levensecht de longen en de lever overkappen. Daaronder is de buikholte zichtbaar, compleet met dikke en dunne darm. Als ik de dikke darm bij de appendix vastpak en optil, zie ik daarachter op de plaat een paar dikke aderen en slagaderen lopen. Ik zoek in het register het nummer op dat op de slagader staat vermeld, en daaruit blijkt dat ik de rechter bekenslagader heb gevonden. De linkerkant van romp en hoofd laat de diverse spieren zien. Ik til nummer 224 en 225 op — deze

vormen samen volgens het register de *musculus pectoralis major* of grote borstspier — en kan door het ontstane kijkgat het hart van dichtbij inspecteren. Het kartonnen hart is overigens opengevoerd, zodat de kamers en de boezems goed zijn te zien.

Het register is vertaald door medewerkers van het Anatomisch-Embryologisch Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam. Zoals hierboven al bleek, geeft het register zowel de Latijnse als de Nederlandse benaming van maar liefst 300 onderdelen. Dit register kan achter de wandplaat worden bewaard. Het is ook uitklapbaar, en is eventueel naast de wandplaat aan de muur te bevestigen. Persoonlijk vind ik het formaat van het register (in opgevouwen toestand 43 x 11 cm) onhandig. Een boekje met bescheiden afmetingen was mij zeker liever geweest.

Deze wandplaat heeft zijn beperkingen, zeker vergeleken met de dure modellen waarover scholen doorgaans beschikken en het onderwijsmateriaal dat sommige EHBO-verenigingen gebruiken. Deze kartonnen mens is bijvoorbeeld niet van de achterkant te bekijken. Bovendien kost het vrij veel moeite — het lijkt wel een operatie — om een nier te zien. Het geslacht van de afgebeelde mens is trouwens een raadsel.

De wandplaat kan, ondanks de genoemde bezwaren — voor velen als een gemakkelijk en mooi studie-object dienen. Deze plaat is geschikt voor het oefenen van moeilijke Latijnse benamingen van de diverse lichaamsdelen en als hulpmiddel bij het geven van EHBO-lessen aan jongeren. Kortom, op uiteenlopende manieren kan men veel plezier beleven aan deze ingenieuze, illustratieve en goedkope kartonnen mens.

Erick Vermeulen

WERKEN IN HET BUITENLAND

Wilt u van leven veranderen? Zoekt u werk in het buitenland? Zie hier het boek dat u nodig heeft. U vindt er alle inlichtingen in terug evenals de adressen van meer dan 1.000 ondernemingen en uitzendbureau's.

Tegelijkertijd nemen wij de vrijheid u dit boek voor te stellen als een onontbeerlijk middel voor allen die werk zoeken. Alles staat er in, van de werk-aanvraag over het arbeidscontract, informatie over de arbeidsvergunning, visa, tot het klimaat, salarisniveau en verblijfsvoorwaarden in Europa, de Verenigde Staten, Canada, de Antillen en het Verre Oosten.

Geïnteresseerd? Vraag schriftelijk onze gratis brochure aan die u meer inlichtingen zal bezorgen, op het hieronder vermelde adres. Duid daarbij met een kruisje het juiste vak aan:

- ☐ Boek 'Arbeit im Ausland'.
Prijs: f 59,-.

- ☐ Gratis brochure.

Indien het de brochure is die u interesseert verzoeken wij u om aan uw brief een aan uzelf geadresseerde enveloppe toe te voegen die een internationale frankeringscoupon bevat.

SH BOKFÖRLAG AB Box 2014
S-135 02 Tyresö Zweden.

N.B. Wij zijn geen uitzendbureau!

Prof dr H.R. Reinders ('Schepen') werd op 29 maart 1941 geboren. Hij studeerde klassieke archeologie in Groningen, waar hij in 1988 promoveerde. Van 1974 tot 1989 was hij hoofd van de afdeling Scheepsarcheologie van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Sinds 1989 is hij hoogleraar archeologie aan de RU Groningen.

Ing R. Oosting ('Schepen') werkt sinds 1980 bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, waar hij scheepsbouwkundig medewerker is van de afdeling Scheepsarcheologie. Hij studeerde scheepsbouwkunde aan de HTS te Haarlem. Oosting werd op 14 maart 1956 geboren.

Dr ir A. Graveland ('Drinkwater') is geboren in Oudekerk aan de IJssel op 4 oktober 1935. Hij studeerde scheikundige technologie aan de TU Delft, waar hij in 1971 promoveerde. Sinds 1970 is hij werkzaam bij de Gemeentewaterleidingen Amsterdam, waar hij hoofd van de sector Ontwikkeling is.

Dr ir G.L.J.H. Samyn ('Bromelia's') is op 19 november 1946 in Gent geboren. Hij studeerde landbouwkundige wetenschappen in zijn geboorteplaats en promoveerde er in 1987. Van 1972 tot 1988 werkte hij bij het Nationaal Centrum voor Fytovirologie. Momenteel is hij in dienst van het Rijksstation voor Sierplantenteelt in Melle.

Dr A.J. Furth ('Suiker') werd op 7 september 1940 geboren. Zij studeerde aan het Londense Queen Elizabeth College, waar ze in 1965 promoveerde. Zij was gedurende tien jaar wetenschappelijk medewerkster bij diverse onderzoeksgroepen aan Harvard en Oxford University, werd in 1970 lector biochemie in Oxford en in 1974 lector biologie bij de Britse Open Universiteit.

G. Schilling ('Planeten') werd in 1956 in Meerkkerk geboren. Hij studeerde aan de HTS te Utrecht en is autodidact op het gebied van sterrenkunde en ruimte-onderzoek. Hij werkte bij uitgeverij Oosthoek en bij het Planetarium Amsterdam. Sinds 1987 is hij verbonden aan het Artis Planetarium. Hij is free-lance publicist voor diverse bladen, was hoofdredacteur van *Zenit* en schreef vijf boeken.

Dr ir B. Brunekreef ('Milieunormen') is op 10 maart 1953 in Utrecht geboren. Hij studeerde milieuhygiëne aan de LU Wageningen en promoveerde daar in 1985. Hij werkt er nog steeds als medewerker van de vakgroep gezondheidsleer en is nu universitair hoofddocent. Tijdens een sabbatical year in 1986-'87 verbleef hij aan de Harvard School of Public Health.

Onzekerheid

Er bestaat, zo zegt de op dit moment invloedrijke Amerikaanse filosoof Richard Rorty in zijn boek *Philosophy and the mirror of nature*, geen bevoorrechte manier van kennisverwerving. Wij kunnen het er allemaal op houden dat de volgens strikte, herhaalbare methoden verzamelde kennis (wetenschappelijke kennis dus) de enige ware is. Doch als er een Thaise monnik komt die daar zijn schouders over ophaalt en zegt dat alleen jarenlange meditatie tot werkelijke kennis leidt, dan zal bij een discussie al gauw blijken, dat de monnik en wij hoegeenaamd niets tegen elkaars standpunt kunnen inbrengen. Als het kennispuntje bij het filosofische paaltje komt is er geen gelijk meer vast te stellen, behalve natuurlijk binnen één stelsel van kennisverwerving.

Het is dan ook vooral op praktische gronden dat we het in onze samenleving op de wetenschappelijke methode houden. Des Thaisen monnik's waarheid mag dan niet fundamenteel beter of slechter zijn dan de onze, die waarheid heeft er in de afgelopen millennia niet voor gezorgd dat iemand in Timboektoe maar een paar knopjes hoeft in te drukken om te kunnen praten met zijn neef in Los Angeles, of een sleutel hoeft om te draaien om letterlijk in een luie stoel naar zijn ouders 300 km verder te worden gedragen. En veel brood heeft die waarheid ook niet op de plank gebracht — dit alles in tegenstelling tot onze wetenschap. (Voor de Thaise monnik zijn dit overigens geen geldige argumenten; ook in dat opzicht is de keuze fundamenteel willekeurig).

Onze samenleving zou zonder die wetenschappelijke manier van kennisverzamelen ondenkbaar zijn, want wetenschappelijke kennis verschaft ons de mogelijkheid technologische oplossingen te vinden voor onze problemen. Onze tegenstanders — en die zijn er ook hier, al kan men de indruk krijgen dat hun aantal slinkt — zullen meteen opmerken dat ook dat praktische nut maar schijn is. En soms krijgen ze nog gelijk ook. Dat hoeft ons niet echt te verbazen, want nu we toch onder ons zijn kunnen we wel openlijk toegeven dat 'een wetenschappelijk bewezen feit' nooit meer is dan een nog niet weerlegde theorie, die alleen geldigheid heeft onder heel bepaalde omstandigheden. Als de omstandigheden wat anders zijn dan we in onze theorie veronderstelden, dan kan een op wetenschappelijke kennis steunende technologische oplossing een flop worden.

Voor sommigen levert dat vooral een vermakelijk schouwspel op. Jean Baudrillard steekt in *L'échange symbolique et la mort* de draak met de groeimogelijkheden van de milieu-industrie, die zelf weer zoveel verontreinigt (zie bijvoorbeeld de afvalverbranding, ooit gepresenteerd als dé oplossing voor een groot milieu-probleem) dat er weer nieuwe technologische industrie nodig is om die verontreiniging te bestrijden, enzovoort, ad infinitum. Voor anderen vormt die onzekerheid zo'n grote bedreiging, dat ze hun heil (en gezondheid) gaan zoeken in obscurantistische hoeken: wetenschap is niet perfect, ergo: niet-wetenschap is perfect.

Het enige wat onderzoekers kunnen doen is zelf weten wat de waarde is van hun uitspraken en die kennis uitdragen. Het artikel van B. Brunekreef (pag. 500) is daarvan een gelukkig voorbeeld.

Fossielen van de Zuiderzee *Visserij was langs de kust van de Zuiderzee een belangrijke bron van inkomsten. Haring, bot, paling, ansjovis en spiering waren de voornaamste vissoorten. In de late Middeleeuwen, toen de Zuiderzee nog niet was verzilt, viste men langs de oostkust ook op steur. De visserij bracht tal van nevenactiviteiten met zich mee, waaronder scheepsbouw. Over de vissersschepen van de Zuiderzee in de 19e en de 20e eeuw is veel bekend: botters, bonsen, schokkers en pluten zijn nog steeds in de vaart. Onze kennis over oudere vissersschepen is daarentegen beperkt. Dankzij opgravingen in de IJsselmeerpolders kennen we thans ook enige oudere schepen, zoals een 16e eeuwse waterschip en een 17e eeuwse ventjager.*



Waterschip en ventjager



In 1686 schilderde Willem van de Velde de Jonge het IJ voor Amsterdam. Het vlaggeschip van luitenant-admiraal Cornelis Tromp, de Gouden Leeuw, schittert in het zonlicht. De stad Amsterdam gaat schuil achter talloze schepen, waaronder diverse waterschepen zijn te herkennen.

R. Reinders

*Biologisch-Archeologisch Instituut
Rijksuniversiteit Groningen*

R. Oosting

*Afdeling Scheepsarcheologie
Directie Flevoland Rijkswaterstaat, Lelystad*

In het gebied van de Zuiderzee was omstreeks 3500 voor Christus op oeverwallen langs kreken bewoning mogelijk. Bij opgravingen ten westen van Swifterbant heeft men resten van nederzettingen gevonden. De stijging van de zeespiegel drong bewoners echter terug naar de hoger gelegen gronden en tenslotte raakte het hele gebied overspoeld. In de Romeinse tijd lagen in dit gebied, achter een duinenrij in het westen, het Flevomeer en een uitgestrekt veenlandschap. Het Flevomeer stond in open verbinding met de Noordzee, aanvankelijk via een zeegat bij Bergen, later via het oer-IJ en het Vlie.

Na talloze doorbraken in de noordwestelijke duinenrij vormde zich uit het Flevomeer tenslotte de Zuiderzee; vooral het ontstaan van het Marsdiep in de 12e eeuw speelde daarbij een rol. De naam Zuiderzee komt pas in 1340 voor. Daarvoor was er sprake van het Almere. De Zuiderzee breidde zich uit door erosie in de hals van de Zuiderzee en door opruiming van het veenlandschap. De betekenis van de zee voor handelsscheepvaart en visserij groeide geleidelijk; in de 15e en 16e eeuw werd de Zuiderzee van groot belang voor deze bronnen van inkomsten.

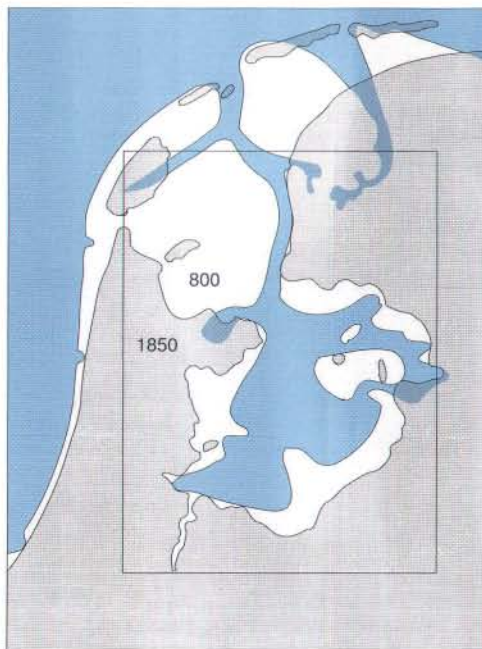
Inpoldering

De eerste plannen voor inpoldering van de Zuiderzee dateren uit de 17e eeuw. Pas in de 20e eeuw kwam het plan tot uitvoering: de Afsluitdijk werd in 1932 aangelegd en achtereenvolgens werden de Wieringermeer (1930), de Noordoostpolder (1942), Oostelijk Flevoland (1957) en Zuidelijk Flevoland (1968) drooggelegd. Bij de inrichtingswerkzaamheden kwamen ruim 350 scheepswrakken te voorschijn.

Vooraf na het ontstaan van het Marsdiep zijn in de Zuiderzee sedimenten afgezet. Schepen die vergingen zonken in deze sedimenten weg en werden nadien met jongere afzettingen bedekt. De inrichting van de polders, met name de verlaging van de grondwaterstand, heeft voor de conserveringstoestand van het scheepshout boven de grondwaterspiegel desastreuze gevolgen gehad: het hout rot binnen tien tot dertig jaar na het droogvallen van de polder weg. Deze bedreiging heeft er toe geleid dat sinds het droogvallen van de Noordoostpolder in 1941 voor de vele scheepswrakken die bij de inrichting van het gebied te voor-

schijn kwamen, een omvangrijk programma van verkenningen, opgravingen en bescherming is uitgevoerd.

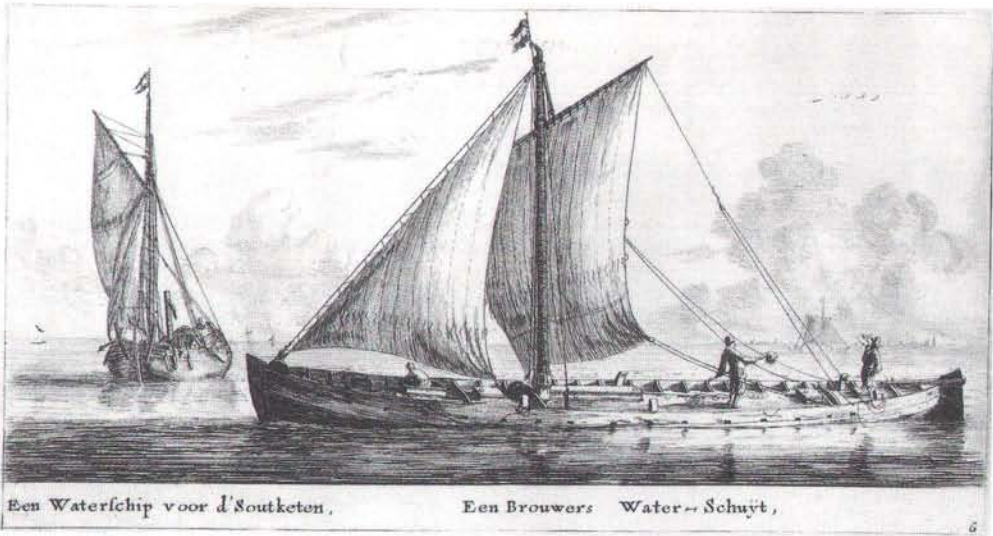
Tot de 350 wrakken die zijn gevonden behoren middeleeuwse vrachtschepen uit de 13e en 14e eeuw, waarschijnlijk koggen. Zij tonen aan dat men in die tijd reeds beschikte over grote zeegaande vrachtschepen voor de handel op de Noord- en Oostzee. Verder zitten er bij de gevonden wrakken veel restanten van kleine vrachtschepen voor de binnenvaart. Dikwijls vinden archeologen nog hun lading, bestaande uit baksteen, stadsvuil of schelpen, in het scheepsrui. Grote koopvaarders, zoals het 17e-eeuwse vrachtschip dat staat opgesteld in het Museum voor Scheepsarcheologie te Ketelhaven, vormen een uitzondering. Ook vissersschepen zijn gevonden, maar hun aantal is gering.



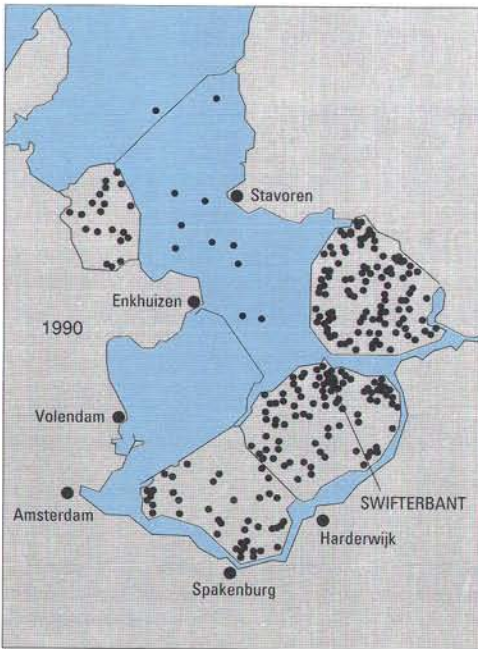
1

1. Uit het Flevomeer, een binnenzee uit de Romeinse tijd, ontstaat in latere eeuwen de Zuiderzee, die in open verbinding staat met de Noordzee. Met het groter worden van de

Zuiderzee neemt de betekenis van visserij en transport op de Zuiderzee toe en ontstaan langs de kust havensteden als Enkhuisen, Hoorn, Volendam en Elburg.



2



3

2. Naast waterschepen, die als vissersschip zijn gebruikt, voeren enkele eeuwen geleden ook schepen en schuiten voor het transport van water over de Zuiderzee.

3. Na inpoldering in deze eeuw van grote delen van het IJsselmeer, ontdekte men op veel plaatsen scheepswrakken. Bij Swifterbant vond men de resten van een ventjager.

Veel van de opgegraven vissersschepen kunnen we dankzij afbeeldingen identificeren als *waterschepen*, zo genoemd vanwege de aanwezigheid van een bun of kaar: een compartiment met gaatjes in de scheepshuid waarin men levende vis bewaart. De meeste schepen van dit type zijn in de 16e of het begin van de 17e eeuw vergaan. Ze vertonen essentiële verschillen met bekende Zuiderzee-vissersschepen als de botter, maar ook met een *ventjager* die aan het einde van de 17e eeuw is vergaan. Enkele kenmerken van het waterschip en de ventjager zullen we de revue laten passeren.

Een 16e-eeuws waterschip

In 1975 is een waterschip onderzocht op kavel W10 in Flevoland. Bij het opgraven werd steeds een deel van het schip ontmanteld, totdat alleen kiel, voor- en achterstevan en stuurboordhuid overbleven. De vorm van het schip, het meest imposante vissersschip van de Zuiderzee, laat zien dat het geen platbodem is, zoals de botter. Het vaartuig heeft een uitwaaiende vorm en is over de gehele lengte gepiekt, vooral in voor- en achterschip. Gepiekt is een aanduiding van de vorm van het onderwaterschip, waarbij de romp nabij de kiel zeer scherp is gevormd om dan in een S-bocht snel te verbreden. Het schip is ongeveer twintig meter lang en zes en een halve meter breed.



4

Typerend voor dit waterschip zijn de steile gebogen voorsteven met een kleine loefbijter (een vooruitstekend deel van het onderwatergedeelte van de voorsteven), een recht vallende achtersteven en een kielplank. De huid van het schip was karveel gebouwd. Aanvankelijk bouwde men waterschepen met een overnaadse huid waarbij de huidplanken dakpansgewijs over elkaar liggen. Rond de overgang van de 15e naar de 16e eeuw ging men over op karveelbouw, een gladde constructie van de scheepshuid waarbij de planken met de kanten tegen elkaar aan liggen. Tegen de binnenzijde was de scheepswand volgezet met inhouten: stukken hout die het opstaande geraamte van een schip vormen.

De bun of kaar is kenmerkend voor de functie van het waterschip. Aan boord van moderne vissersschepen maken vriesruimen het mogelijk om lange reizen te maken zonder dat de vangst bederft. Ook vroeger was het mogelijk om de vangst goed te houden: men kon de vis zouten of in een bun bewaren. Al uit de Romeinse tijd dateert een vijf en een halve meter lange uitgeholde boomstam met honderden gaatjes. Deze kaar is gevonden bij de opgraving van het Romeinse fort Nigrum Pullum, bij Alphen aan den Rijn. Karen, in de vorm van korven of drijvende kisten of bakken, zijn nog steeds in gebruik.

Van een bun voorziene schepen dateren

waarschijnlijk uit de late middeleeuwen. Het 16e-eeuwse waterschip had twee buncompartimenten die van elkaar en de rest van het schip werden gescheiden door drie zware bunschotten. De huid van het schip was ter plaatse van de bun doorboord met kleine gaatjes. Het bunruim dekte men af met een bundeken. In het midden van de bundeken bevond zich een rechthoekige opening, de trog, zodat men de vis in en uit de bun kon scheppen.

Ook al zijn bij de opgraving geen netten gevonden, toch blijkt uit de inrichting van het achterdek, de slijtsporen op de klampen en de aanwezigheid van een bun, dat het waterschip voor de visvangst diende. Waarschijnlijk gebruikte men daarbij een kuilnet waarvan men de mond openhield met behulp van twee bomen die aan weerszijden van het achterschip uitstaken.



5



6

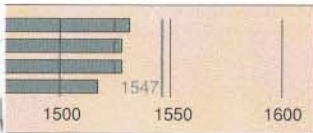
Vóór de bun was een grote ruimte voor het opbergen van zeilen, netten en reserve-onderdelen. Achter de bun bevond zich de woonruimte, weliswaar van beperkte afmeting. Hier werden een haardplaats, voorraad- en kookpotten gevonden. Uit tekeningen en modellen uit die tijd blijkt dat de woonruimte en de ruimte boven de bun overkapt waren.

Datering

Over de bouwdatum van het waterschip op kavel W10 zijn we geïnformeerd dankzij jaar-ringonderzoek van het scheepshout. Het hout moet omstreeks 1547 zijn gekapt. Ondanks het geringe aantal monsters voor datering dat beschikbaar was hebben we kunnen vaststellen dat het schip rond 1550 is gebouwd van hout dat afkomstig was uit Noordwest-Duitsland.

Een belangrijke aanwijzing voor de datering van de ondergang geven enige tegels van de stookplaats; daarop staat vermeld het jaartal 1561. Verdere informatie leveren het gevonden aardewerk en de bodemkundige gegevens: het schip verging waarschijnlijk in het laatste kwart van de 16e eeuw.

Zijzwaarden, die vanaf het midden van de 16e eeuw bij Nederlandse schepen regel zijn, ontbraken. Gezien de kielvorm van het waterschip waren deze ook niet nodig om bij zijwind het afzakken naar de van de wind afgekeerde zijde of lijzijde, het verlijeren, tegen te gaan. De vondst van tien ton keien – drie en een halve ton in het voorschip en zes en een halve ton in het achterschip – leverde enige discussie: was dit lading of ballast? Om deze vraag te kunnen beantwoorden was het noodzakelijk om de vaareigenschappen van het waterschip



4. Versierde vloertegels uit de 'vuurkist' aan boord van het waterschip. Men ontdekte het jaartal 1561 in spiegelschrift en het randschrift 'Alle dinc heeft siinen tiit'.

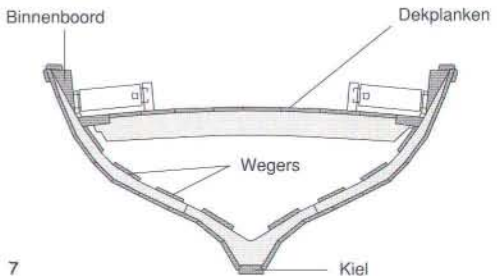
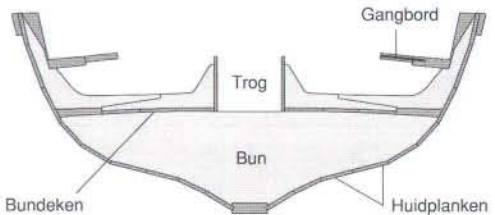


5. Bij jaarringonderzoek aan inhouten (ribben) en een bolder (stuk hout waarom men een tros vastlegde) telde men twintig jaar op bij de jaargrens tussen kernhout en spint-hout om het bouwjaar van het schip te schatten.

6. De opgraving van het waterschip in de praktijk.

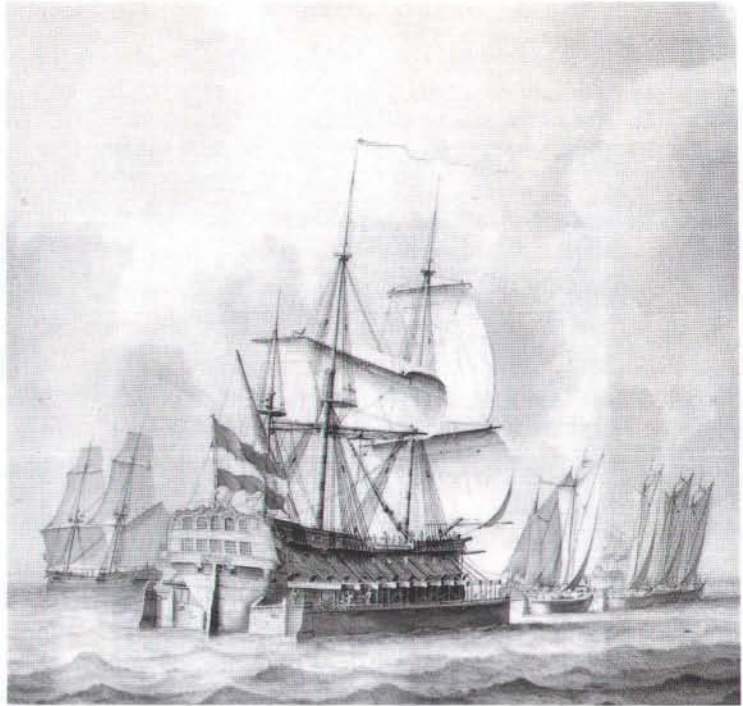
7. Grootspantdoorsnede (7a) en dwarsdoorsnede (7b) van het 16e-eeuwse waterschip.

TABEL 1 Scheepsgewicht en buninhoud		
Schip	Tonnage	Buninhoud
Noordzeebotter	22 ton	10 m ³
Waterschip (16e eeuw)	42 ton	13 m ³
Ventjager (17e eeuw)	18 ton	8 m ³
Blazer	20 ton	4 m ³
Wieringeraak	17 ton	5 m ³
Friese palingaak	47 ton	23 m ³



7

8. Een groep waterschepen sleept een VOC-schip over Pampus, een ondiepte in het IJ. Het VOC-schip rust op een scheepskameel, een uitvinding uit 1691 van de Amsterdammer Meeuwis Meindertz Bakker. Door water uit deze bakken te pompen kon men een schip deels uit het water heffen.



8

Aantasting en bescherming

Veel schepen die op de Zuiderzee vergingen, zakten snel en diep in de zeebodem weg, vooral op plaatsen waar deze bestond uit slappe, kleiige afzettingen. In dit zuurstofarme milieu bleven schip, uitrusting en inventaris in het algemeen goed bewaard.

Sinds het droogvallen van de polders is de grondwaterstand gedaald door verdamping en door onttrekking van water door planten. Om de grond geschikt te maken voor landbouw en de aanleg van steden en dorpen wordt de grondwaterstand nog verder verlaagd.

Door onttrekking van water en verdamping treedt een daling van het maaiveld op van 50 cm in de eerste tien jaar en nog eens 50 cm in de volgende negentig jaren na het droogvallen. Verder ontstaat, in plaats van het zuurstofarme milieu van de zeebodem, een zuurstofrijke poldergrond die voor de landbouw onontbeerlijk is. Deze verandering is desastreus voor het scheepshout dat in korte tijd verrot. Het rotten wordt veroorzaakt door verschillende in de grond voorkomende schimmels die in een zuurstofrijk, vochtig milieu goed gedijen.

Voor de bescherming van scheepswrakken zijn

maatregelen nodig. In 1979 koos men voor het plaatselijk verhogen van de grondwaterstand. Rond het schip plaatst men een verticale wand van plastic folie: het plastic verhindert het wegstromen van het water, terwijl een kleipakket, dat water immers nauwelijks doorlaat, voorkomt dat watertransport in verticale richting plaatsvindt. Op het wrak brengt men een laag van 1,0 à 1,5 meter grond, die eveneens met plastic wordt afgedekt. Via een gat in de toplaag kan het regenwater de waterstand binnen de plastic 'tank' op peil houden, terwijl verdamping wordt tegengegaan. Bij sommige ingekuilde scheepswrakken is een grondwaterstand gemeten van driekwart meter boven de grondwaterstand van het maaiveld in de omgeving.

Uiteraard zorgt deze methode slechts voor een vertraging van de afbraak van het hout. Ook onder gunstige omstandigheden vindt in de loop van de tijd afbraak van cellulose plaats, waardoor het hout geleidelijk zijn sterkte verliest. Dankzij deze methode is het echter mogelijk de gevonden schepen in een later stadium te onderzoeken, zodra men over voldoende tijd en materiaal beschikt.

te bepalen, waarvoor zoveel mogelijk kenmerken van het waterschip moesten worden achterhaald.

In de eerste plaats is geprobeerd de ontbrekende delen, zoals het roer, de roef (een overdekt verblijf), de uitrusting en de tuigage te reconstrueren. Aan de hand van tekeningen en modellen uit latere tijd bleek dat het schip een sprietzeil en een fok voerde. Het oppervlak van deze zeilen, berekend op 74 m² en 33 m², is aan de kleine kant, maar waterschepen konden bij gunstige wind ook nog een briefok, een licht, hoog en smal zeil, bijzetten.

Het scheepsgewicht is bepaald op 42 ton, waarbij de tien ton zwerfstenen niet zijn inbegrepen. Dat de zwerfstenen als lading zouden zijn vervoerd is hoogst onwaarschijnlijk. We hebben gezien dat het waterschip voor de visvangst diende en bovendien waren de luiken in voor- en achterschip te klein om de zwerfstenen gemakkelijk in en uit het ruim te krijgen. Ook voor de stabiliteit van het schip waren de zwerfstenen niet nodig: berekeningen tonen aan dat zonder de keien het vaartuig glansrijk zou voldoen aan de strenge eisen die de

Scheepvaartinspectie aan de hedendaagse boomkorvisserij stelt. Zonder de zwerfstenen zou het schip echter ver voorover liggen, zodat de verdeling van de zwerfstenen over voor- en achterschip waarschijnlijk te maken heeft met de goede trim van het vaartuig: ze dienden wellicht om het verschil in diepgang tussen het voor- en het achterschip af te stellen.

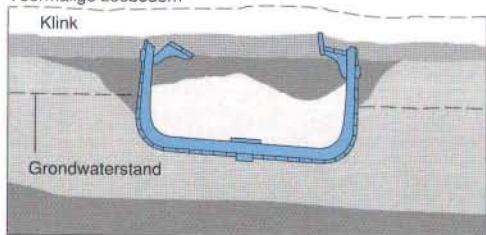
Het waterschip van kavel W10 is omstreeks 1550 gebouwd. In Flevoland zijn ook waterschepen gevonden die uit de tweede helft van de 15e eeuw dateren: deze schepen waren overnaads gebouwd, maar wat betreft vorm en constructie identiek aan het 16e-eeuwse waterschip. Uit geschriften weten we dat het waterschip in de 14e en 15e eeuw als koopschuit diende voor het transport van vis naar de vismarkt in Amsterdam. In de loop van de 16e eeuw ging men het als vissersschip gebruiken.

Waterschepen voor Pampus

We kennen echter ook waterschepen uit latere tijd. In de 17e en 18e eeuw waren waterschepen op Marken gestationeerd om grote sche-

INTERMEZZO I

Voormalige zeebodem

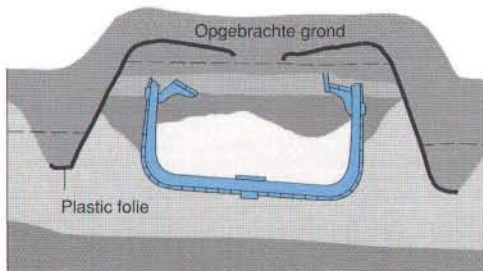


I-1a

I-1. Na de drooglegging van een IJsselmeerpolder daalt de grondwaterstand en klinkt de bodem in. Scheepswrakken in de bodem komen in een zuurstofrijk milieu terecht (I-1a). Het scheepshout in de bovengrond vormt een goede voedingsbron voor schimmels en micro-orga-

nismen. Om verrotting van het hout tegen te gaan beschermt men het wrak door het kunstmatig verhogen van de grondwaterstand ter plaatse. Daartoe plaatst men plastic zeilen aan weerskanten van het wrak en hoogt men de bodem ter plaatse op (I-1b, I-2).

Opgebrachte grond



I-1b



I-2

Berging en opmeting van de ventjager

Vanwege wegeaanleg en huizenbouw had men voor de opgraving van de ventjager slechts enkele weken tijd: te weinig tijd om de vorm en de constructie van het wrak op te meten. Omdat het bakboordgedeelte van het schip in goede staat verkeerde, werd besloten om het schip te bergen en te exposeren. Zo kon de opmeting van het vaartuig na de opstelling in een museum in alle rust plaatsvinden.

Na de ontgraving en het bergen van de vondsten zaagden de archeologen het wrak in drie delen. De onderkant van het vaartuig werd zoveel mogelijk ondergraven om de zuigkracht door de bodem tegen te gaan. Met een travers en hijsbanden kon men de segmenten gemakkelijk uit de opgravingsput hijsen.

De drie fragmenten zijn bij het museum te Ketelhaven op een frame gemonteerd en aan elkaar bevestigd, door over de zaagsneden ijzeren strips ter ondersteuning aan te brengen. Nadat het frame over twee glijgoten het museum in was getrokken, werd het vervolgens in een tent geplaatst om het drogingsproces geleidelijk te laten verlopen.

Het opmeten van een schip is vrij lastig vanwege de complexe vorm en gebogen lijnen. Gewoonlijk meten de onderzoekers tijdens een opgraving de onderdelen van een schip en een scheepshuid aan de binnenkant. Door de opstelling in het museum kon de huid van de 17e-eeuwse ventjager van buitenaf worden aangemeten, waarbij het frame waarop het schip rustte als basis diende.

Voor de opmeting gebruikte men een grote meethaak. Op de plaats waar de archeologen de dwarsdoorsnede wilden meten, werd een grote meethaak haaks op de lengterichting van het schip geplaatst. De uiteinden van, op de meethaak gespijkerde, dunne latjes gaven de plaats van een naad tussen twee

huidplanken aan. Nadat zo de voornaamste punten van de dwarsdoorsneden waren gemarkeerd en de haak op de tekenvloer was gelegd, kon men de punten van de dwarsdoorsnede overnemen. Zo ontstond een tekening van alle dwarsdoorsneden, schaal 1:1, die de onderzoekers met behulp van een mechanisch tekenapparaat, een zo genaamde pantograaf, naar schaal 1:10 verkleinden. Het is duidelijk dat deze methode tijdens een opgraving niet kan worden toegepast.

Ook van alle huidplanken zijn tekeningen op schaal 1:1 vervaardigd. Daartoe bevestigde men plastic folie op iedere huidplank. Vervolgens werden alle essentiële punten – naden, houten pennen, spij-



II-1



II-2



II-3



II-4

INTERMEZZO II

kers, bouten, beschadigingen, reparaties – met een viltstift op het folie overgetrokken. Ook deze tekeningen zijn verkleind naar schaal 1:10.

Een schaalmodel van het vaartuig vormde een goede controle om te zien of de rompvorm, die was gereconstrueerd aan de hand van de dwarsdoorsneden, klopte. Daartoe zijn kiel, stevens en dwarsdoorsneden in hout uitgezaagd en als een frame opgezet. Vervolgens werden stroken papier in de vorm van de diverse opgemeten huidplanken langs de dwarsdoorsneden aangebracht. Door het ontbreken van de stuurboordgedeelte van het schip aan te vullen ontstond op eenvoudige wijze een beeld van de complete rompvorm.

II-1,2. De ventjager, die met zware 'slagzij' in de opgravingsput heeft gelegen, komt uiteindelijk in een normale positie in het museum te Ketelhaven.

II-3. Tijdens de opgraving vond men een doofpot, waarin men vroeger gloeiende turf bewaarde.

II-4. Uit de aanwezigheid van een zwaardbolder aan de bakboordzijde van de ventjager heeft men kunnen opmaken dat de ventjager over een zijwaard beschikte. Het zwaard werd tot onder het vlak van het schip neergelaten om de zijwaartse drift van het schip tegen te gaan.



pen van de VOC en de Admiraliteit over Pam-
pus, een ondiepte in het IJ voor Amsterdam,
te slepen. Daarbij gebruikte men zogenaamde
kamelen. Kamelen waren een Nederlandse uit-
vinding en bestonden uit twee met water gevul-
de platte bakken waar men een schip tussen
bevestigde. Door het water uit de bakken te
pompen kon men het schip laten rijzen en over
ondiepten lichten. De sterkte van de construc-
tie van het waterschip ter hoogte van het dek
maakte het schip bij uitstek geschikt voor het
slepen van de kamelen. Na het gereedkomen
van het Noordhollands Kanaal, in 1824, raakte
de scheepvaartroute van Amsterdam over de
Zuiderzee naar de rede van Texel in onbruik en
werden de laatste waterschepen buiten dienst
gesteld.

Modellen uit het begin van de 19e eeuw tonen nog veel overeenkomst met het waterschip uit 1550. Dit betekent dat het waterschip in 350 jaar nauwelijks is veranderd, met uitzondering van de constructie van de scheepshuid. Daarentegen is de functie van het waterschip door de eeuwen heen diverse malen gewijzigd: in de 14e en 15e eeuw diende het waterschip als koopschuit, in de 16e eeuw als vissersschip en in de 17e tot de 19e eeuw als sleper.

Een 17e-eeuwse ventjager

Al op het eerste gezicht is duidelijk dat de vorm van het waterschip uit 1550 totaal afwijkt van het vissersschip dat in 1985 bij Swifterbant is gevonden: dit vaartuig heeft een vlakke bodem en naar binnen gebogen zijden, terwijl het waterschip een gepiekte vorm met uitwaaijende boorden heeft. Het vlak van het schip loopt echter zowel achter als voor geleidelijk op, zodat het totaalbeeld toch wordt gekenmerkt door vloeiende vormen.

Bij de constructie van dit vaartuig zien we dezelfde elementen als bij het waterschip: kiel (in dit geval een kielbalk), stevens, huid, span-
ten en een voor- en een achterdek die met elkaar zijn verbonden door gangboorden boven de bun. De hier gevonden bun beschikt over drie buncompartimenten, terwijl het waterschip er slechts twee had. Bovendien zijn, in plaats van alle huidplanken ter hoogte van de bun, slechts enkele afneembare dunne planken in de zijden doorboord. Dit had als voordeel dat men de planken bij beschadiging of slijtage gemakkelijk kon vervangen, hetgeen bij het

waterschip bijzonder lastig was. Een roef boven bun en woonruimte, zoals bij het waterschip, ontbrak. Wel kon men het ruim boven de bun met luiken afsluiten.

Door de platte bodem van het schip had men zijzwaarden nodig om bij zijwind koers te houden. De zwaarden zelf ontbraken bij het gevonden wrak, maar een ijzeren beugel voor de ophanging van de zijzwaarden en een strijklamp voor het steunen van neergelaten zwaarden maken het aannemelijk dat dit schip met zijzwaarden was uitgerust.

Ventjager en palingaak

Het is lastig om het vaartuig van Swifterbant in verband te brengen met een scheepstype dat we kennen uit schriftelijke bronnen of van afbeeldingen. Het achterdek van dit vaartuig is vrij hoog en daardoor weinig geschikt voor het binnenhalen van netten. Bij veel vissersschepen is daarentegen de woonruimte in het voorschip ondergebracht en ontbreekt een achterdek, zodat een optimale werkruimte ontstaat. Mede gezien de aanwezigheid van grote bunruimen op het schip uit Swifterbant, menen we dat we hier te maken hebben met een koop-schuit of ventjager die vis over lange afstanden transporteerde.

De woonruimte in de ventjager is beperkt

van afmeting, maar was voorzien van een fraaie schouw met zuiltjes, kastjes met glas- en aardewerk, een lepelrek en siersnijwerk; artikelen die men niet direct aan boord van een vissersschip verwacht aan te treffen. Dankzij enige voorwerpen die zijn voorzien van een jaartal weten we dat de ventjager tegen het einde van de 17e eeuw moet zijn vergaan.

De palingaak is een voorbeeld van een moderner schip dat, evenals de ventjager, speciaal bestemd was voor het transport van vis. Tot in de 20e eeuw vervoerden deze schepen paling vanuit Friesland naar bijvoorbeeld Londen. Er bestaan diverse modellen en tekeningen van dit vaartuig uit de 19e en 20e eeuw. Ze laten een schip zien met vijf grote gescheiden buncompartimenten en in het achterschip een woonruimte. De Friese palingaken waren ruim 18 meter lang en bijna 5 meter breed. De ventjager had meer bescheiden afmetingen en een kleinere bun. De lengte bedroeg 14,20 meter en de grootste breedte was 4,20 meter.

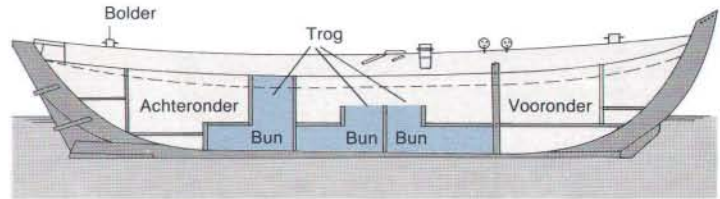
Opgravingen in de polders

Door de inpoldering van het IJsselmeer komen veel wrakken van schepen beschikbaar voor onderzoek. Dit biedt de gelegenheid kennis te verwerven over de vaardigheid van de scheepsbouwers van enige eeuwen geleden en de wijze

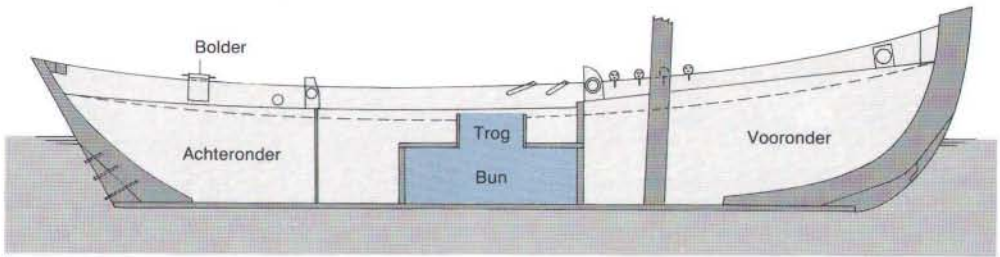
9. De buncompartimenten van het 16e-eeuwse waterschip zijn gescheiden door zware dwarsschotten. De inhouten zijn afgerond om te voorkomen dat de vis beschadigd raakt. De huidplanken zijn ter hoogte van de bun of kaar doorboord, zodat het water in de bun continu wordt ververst.

10. De ventjager (10a) is van aanzienlijk kleiner formaat dan het waterschip (10b). De spant- en de dwarsdoorsnede (10c en 10d) tonen de platte bodem en volle vorm van de ventjager. Om beter koers te kunnen houden, waren zijzwaarden langs het schip bevestigd.

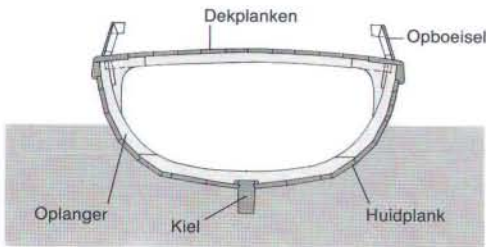




a



b



10 c



d

waarop men toen op de Zuiderzee-schepen leefde. Het onderzoek bewijst aan het waterschip, dat de laat-middeleeuwse scheepsbouwers in staat waren om zo'n vaartuig met fraaie vorm en goede stabiliteit te bouwen. De verschillen in vorm en constructie tussen het waterschip en de ventjager illustreren de veranderingen die plaatsvonden in de scheepsbouw in de tweede helft van de 16e eeuw. De tendens naar schepen met een vlakke bodem, volle vormen en zijswaarden is trouwens ook te zien bij de vrachtschepen voor de binnenvaart.

De inpoldering van het IJsselmeer brengt niet alleen meer wrakken binnen ons bereik, maar resulteert ook in aantasting van scheepsrestanten die niet meer door het grondwater worden beschermd. Wil men meer te weten komen over de scheepvaart op de Zuiderzee, dan zal men met zorg moeten omspringen met de nog resterende wrakken in de polders.

Literatuur

- Dorleijn P. *Zuiderzeevervisserij in beeld*. Amsterdam: 1987, ISBN 906011.532.5.
 Folkersma W. Berekeningen aan een 16e eeuwse waterschip. *Flevobericht* 1987, 280, 83-89.
 Holk AFL van. Jaarringonderzoek van scheepsresten. *Flevobericht* 1987, 280, 75-81.
 Reinders HR. Verslag van het onderzoek van een visserschip op kavel W10 in Oostelijk Flevoland *Flevobericht* 140, 1978.
 Ypma YN. *Geschiedenis van de Zuiderzeevervisserij* (= Publicaties van de Stichting voor het Bevolkingsonderzoek in de drooggelegde Zuiderzeepolders No. 27). Amsterdam: 1962.

Bronvermelding illustraties

- Rijksmuseum, Amsterdam: pag. 440-441.
 Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaartmuseum, Amsterdam: 2, 8.
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.



Met name in Oost-Duitsland
blijkt sprake te zijn van ernstige
verontreiniging van het
oppervlaktewater. In Nederland
en België treft men nog
genoeg plekken aan waar rein
water stroomt, fris gras groeit
en milieuvervuiling een
onbekend begrip lijkt te zijn.
Toch komt er nog heel wat
kijken bij de productie van ons
drinkwater.

A. Graveland
Gefleentwaterleidingen
Amsterdam



GEMEENTEWATERLEIDINGEN
AMSTERDAM

WATERWINGEBIED
VERBODEN TOEGANG

DRINK BEREID MET BELEID WATER

Telkens weer draaien wij achteloos de kraan open en dicht. Het kristalheldere kraanwater gebruiken we vervolgens om te koken, om te drinken, om in te baden, om mee te wassen en om aan de planten te geven. Maar weinig mensen staan stil bij de moeite die waterleidingbedrijven doen om ons steeds weer water te leveren. De toenevende waterverontreiniging maakt het er voor hen niet gemakkelijker op. Dankzij een combinatie van techniek, biologie en chemie komt er echter steeds weer gezond, fris en smakelijk water uit de kraan.

Het water beweegt zich op Aarde in een kringloop. In tegenstelling tot delfstoffen als kolen, gas en olie, waarbij gebruik gelijk staat met verbruik, is de hoeveelheid water vanaf het ontstaan van onze planeet constant. Toch is de voorraad bruikbaar water in principe niet onuitputtelijk.

Twee derde van onze aardbol is bedekt met water. In totaal is er maar liefst 1,37 miljard kubieke kilometer op de Aarde aanwezig. Van deze enorme watervoorraad is nog niet één procent 'zoet', in de vorm van grond- en oppervlaktewater. De rest bestaat uit zeewater en poolijs. Van dat beetje zoete water bevindt zich bijna de helft dieper dan 800 meter in de bodem, en is daardoor praktisch niet aan te boren. Nog eens bijna vijftig procent vormt het bereikbare grondwater. Het zoete oppervlaktewater in meren en rivieren maakt slechts

één procent uit van de totale zoetwatervoorraad.

Sinds de Tweede Wereldoorlog raken de zee, de zoete oppervlaktewateren, de lucht en de bodem in toenemende mate vervuild door chemische verbindingen. Deze verbindingen, die in aantal steeds meer toenemen, komen vrij na gebruik in de huishouding, de industrie en de landbouw. Ongewenste stoffen die in de kringloop van het water terechtkomen bedreigen vervolgens de bronnen voor de openbare drinkwatervoorziening.

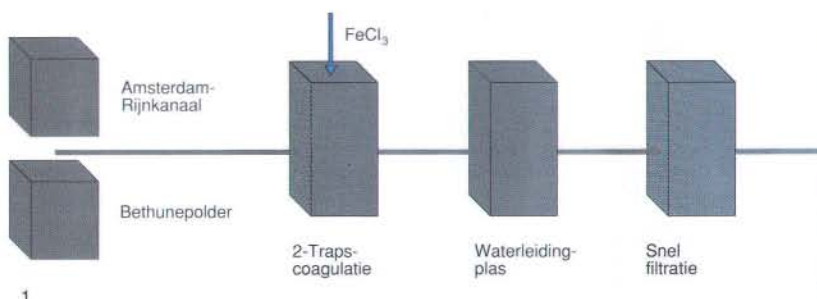
Verontreinigingen

In zowel België als Nederland leveren de waterleidingbedrijven jaarlijks zo'n 1300 miljoen kubieke meter drinkwater, waarvan tweederde is bereid uit grondwater en de rest uit opper-

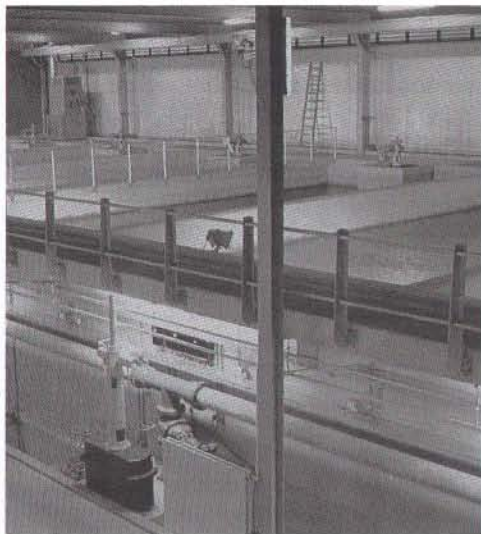
1. In 1853 was één langzame zandfiltratie voldoende om het water te zuiveren. Momenteel zijn hiervoor circa tien zuiveringsstappen nodig. Het water, afkomstig uit het Amsterdam-Rijnkanaal en de Bethunepolder, ondergaat een voorzuivering voordat het in de waterleidingplas wordt gepompt. Diverse zuiveringsstappen maken het water vervolgens geschikt voor consumptie. Het eerste leidingwater werd rond 1850 in Amsterdam en Brussel verkocht voor 'een cent per emmer' (ca 10 liter) oftewel een gulden per kubieke meter (1000 liter). Bijna 140 jaar later wordt hier en daar nog steeds leidingwater verkocht voor één gulden per kuub.

2. Het water uit de waterleidingplas ondergaat allereerst een snelfiltratie. Daarna wordt het over vijftien kilometer getransporteerd.

3. De verontreinigingen die in ongezuiverd water worden gevonden verdeelt men in zeven afzonderlijke groepen.



Gesuspendeerde (zwevende) stoffen
Anorganische kationen: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}
Anorganische anionen: OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- en NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-}
Zware metalen: Pb, Cu, Zn, Cd, Hg, Cr, Ni
Organische stoffen die kunnen fungeren als: * nutriënten voor (micro)biologische groei * geur-, kleur- en smaakstoffen * toxische stoffen als: pesticiden, oplosmiddelen en gehalogeneerde koolwaterstoffen
(micro) Biologische organismen: algen, bacteriën, virussen en hogere organismen
Radio-actieve isotopen

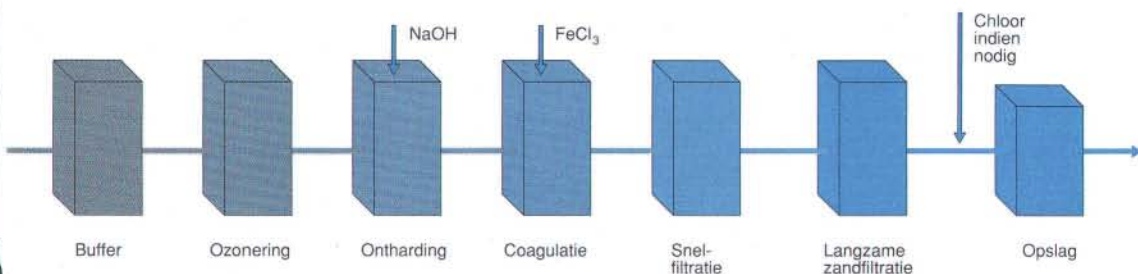


2

laatste tien tot vijftien jaar ook grondwater steeds meer natuurvreemde stoffen blijkt te bevatten, komt in oppervlaktewater in het algemeen een veel groter scala van ongewenste stoffen voor. In dit overzicht zullen de gebruikte zuiveringsstappen voor grond- en oppervlaktewater apart worden beschreven.

Grondwaterzuivering

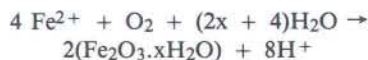
Grondwater wint men met behulp van putten, die in de bodem zijn geslagen tot diepten van twintig tot honderd meter. Daar waar men het water uit de watervoerende grondlagen wil onttrekken, zijn de wanden van de stalen buizen van gaten voorzien. Door deze openingen kan het water in de buis stromen. Onderwaterpompen zorgen voor het naar boven pompen van dit water.



vlaktewater. In het ruwe water dat dient voor de bereiding van drinkwater, kunnen duizenden stoffen zijn opgelost die er enerzijds van nature in thuishoren, maar deels voor een goede drinkwatervoorziening toch moeten worden verwijderd. Vele andere stoffen komen anderzijds door menselijk handelen in het ruwe water terecht en moeten er eveneens uit worden gehaald.

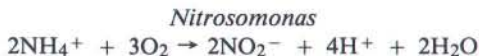
Met moderne analysemethoden toont men in het laboratorium verontreinigende stoffen in water aan in hoeveelheden variërend tussen enkele honderden milligrammen, microgrammen en picogrammen per liter water (afb. 3). Door een verfijning van de beschikbare analysetechnieken kunnen de waterleidingbedrijven een groeiend aantal stoffen en organismen in steeds lagere concentraties meten. Hoewel de

Soms is dit water van goede kwaliteit en is het direct gereed voor distributie via de waterleiding. Meestal bevat het natuurlijke hoeveelheden tweewaardig ijzer (Fe^{2+}), mangaan (Mn^{2+}) en ammonium (NH_4^+), die hoger zijn dan de wettelijk toegestane hoeveelheden. Na beluchting reageert opgelost zuurstof met ijzer:

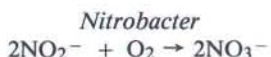


Het zuurstofhoudende water passeert vervolgens een met zand gevuld filter. Daarbij zet het gevormde ijzer(III)hydroxide zich af op de zandkorrels. Het reeds gevormde en op het zandfilter afgezette ijzer(III)hydroxide versnelt de oxydatiereactie waardoor het zelf net is gevormd. Op deze wijze ontstaat een zeer lage concentratie ijzer in het grondwater.

De *Nitrosomonas*-bacteriën oxyderen de overmaat ammonium tot nitriet:



Nitrobacter-bacteriën zetten het gevormde nitriet om in nitraat:



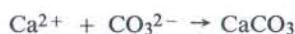
Deze nitrificerende bacteriën bevinden zich op de zandkorrels in het filter, waardoor men het water filtreert. De netto reactie van de oxydatie van ammonium tot nitraat luidt als volgt:



Door de overmatige bemesting van met name zandgronden meet men de laatste tien jaar in het grondwater steeds hogere nitraatgehalten,

MnO_x , is het kristallijne hausmanniet, Mn_3O_4 . De oxydatiegraad x van deze verbinding is gelijk aan $4/3$ oftewel 1,33. Naarmate de oxydatiegraad daalt, krijgt het oxyde een grotere katalytische activiteit waardoor nog meer mangaan op de zandkorrels neerslaat.

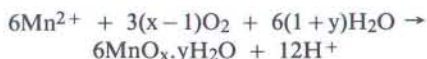
Naast de hier beschreven verontreinigingen kan ook de hardheid (Ca^{2+} en Mg^{2+}) van het water ongewenst hoog zijn. Deze kan men verlagen door de pH van het water te verhogen door toevoeging van natronloog (NaOH), kalk (Ca(OH)_2) of soda (Na_2CO_3). Bij deze methode, het steeds weer toegepaste kristallisatie-onthardingsproces, reageert carbonaat (CO_3^{2-}) met het in het water aanwezige calcium (Ca^{2+}) en ontstaat uiteindelijk het kristallijne calciumcarbonaat (CaCO_3):



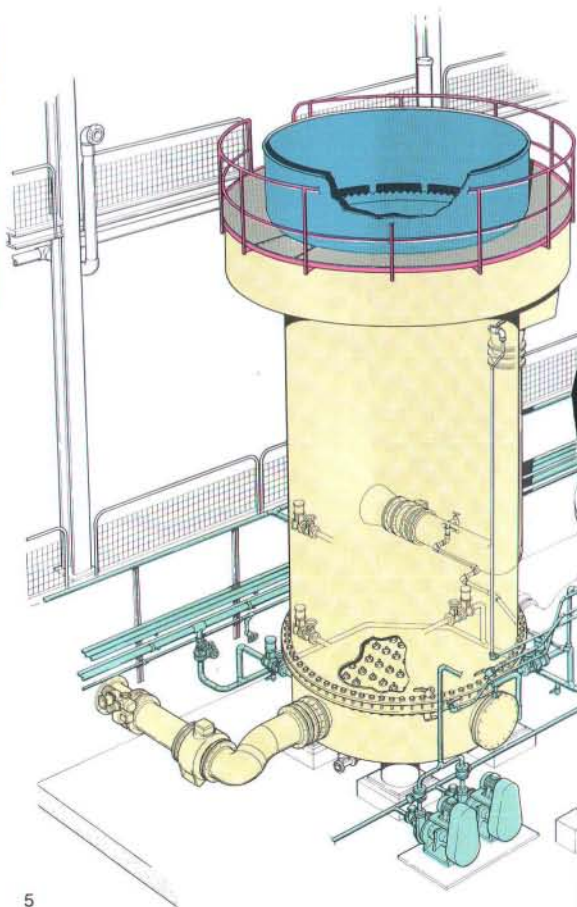
4

waarbij soms de wettelijke normen van 25 of 50 mg nitraat per liter worden overschreden. Door te grote inname van nitraat door aanstaande en baby's moeders neemt de kans op 'blue babies' toe, baby's die door een zuurstoftekort een blauwe kleur krijgen. Om het nitraat te verwijderen zijn enkele, vooral biologische processen ontwikkeld, waarbij nitraat onder zuurstofvrije omstandigheden in gasvormig stikstof (N_2) wordt omgezet.

Het moeilijk oxydeerbare tweewaardige mangaan reageert met zuurstof volgens de netto reactievergelijking:



Het bij deze reactie op de zandkorrels gevormde gehydrateerde ($y\text{H}_2\text{O}$) mangaanoxyde



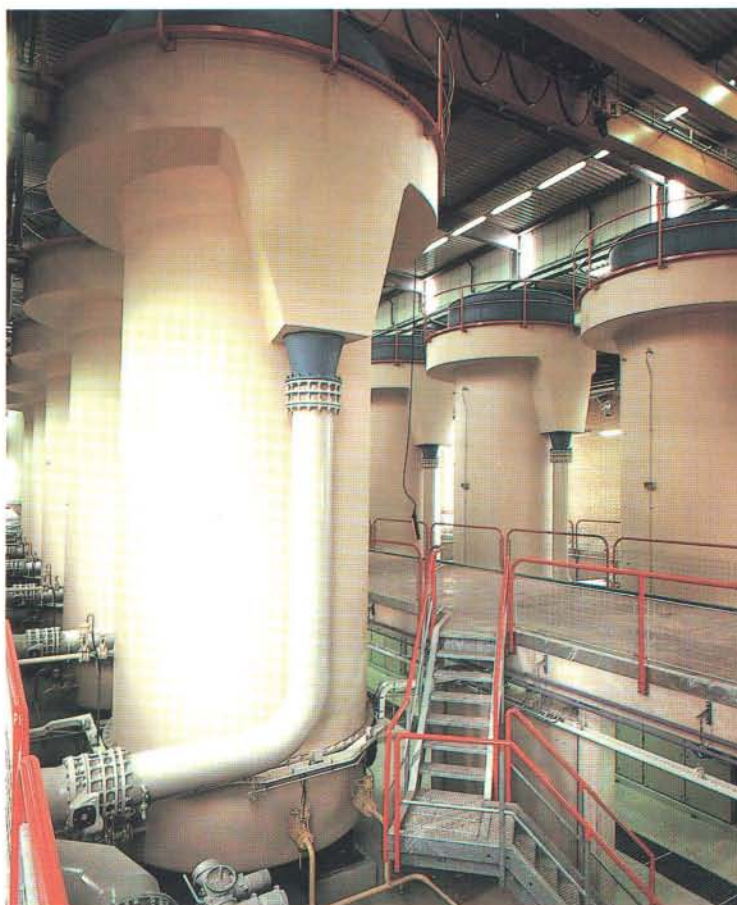
5

4 en 5. Uit de sproeikoppen op de bodem van de korrelreactor stroomt hard water en natronloog in de reactor. In de reactor vinden diverse reacties plaats, waarbij calciëet ontstaat. Het ontharde water verlaat de reactor aan de bovenzijde.

6. Calciëet slaat neer op kalkkorrels die als kristallisationskernen fungeren. De gevormde zandsteenkorrels noemt men - ten onrechte - ook wel marmekorrels.



6



7

7. De opwaartse snelheid van water in de reactoren is vijftig tot honderdvijftig meter per uur.

Chelaatvorming

Door de hoge zuurgraad van de regen kan aluminium uit de bodem in het grondwater oplossen. Aluminium kan met het materiaal van celmembranen complexe verbindingen, chelaten, vormen. Deze chelaten kunnen bij mensen en dieren het vochttransport verstoren en zelfs blokkeren. Als dit in de hersenen van de mens gebeurt, kan dit de ziekte van Alzheimer, een vervroegde dementering, tot gevolg hebben. Het verstoren van vochttransporten door chelaten bij nierdialyse-patiënten zorgt voor extra nierproblemen.

Ook bij planten en bomen kan chelaatvorming het transport van vocht door de vaten in de wortels verstoren, waardoor met name bij bomen de levensduur afneemt.

Het waterleidingbedrijf tracht de vorming van deze lastige chelaten te voorkomen door tijdens de zuiveringsprocedure de pH van het water op de juiste waarde (pH 6,5) te brengen. Daarbij vormt zich een neerslag van aluminiumhydroxyde-vlokken, dat eenvoudig kan worden verwijderd:



Deze reactie moet hebben plaatsgevonden voordat het water bij een pH van ongeveer 8,5 wordt onthard, omdat bij een pH hoger dan 7,5 aluminium als aluminaat (AlO_2^-) weer in water oplost.

Tenslotte kan het gehalte aan organische stoffen in grondwater te hoog zijn. Deze verbindingen kunnen natuurlijke humuszuren zijn, waardoor een hogere microbiologische groei van bijvoorbeeld *Aeromonas*-bacteriën kan ontstaan. Sommige organische stoffen veranderen geur, kleur en smaak van water.

Organische verontreinigingen kunnen ook in grondwater voorkomen door het gebruik van bestrijdingsmiddelen in de land- en tuinbouw en de toepassing van oplosmiddelen, bijvoorbeeld in spuitertuigen. Steeds vaker meet men deze meestal giftige stoffen in ongezuiverd water, zelfs in het altijd zo veilig geachte grondwater.



8

8 en 9. In het laboratorium onderzoekt men de voortgang van het zuiveringsproces onder andere met behulp van uiteenlopende analytisch-chemische technieken. Ook hier heeft de instrumentele chemie een belangrijke plaats naast de klassieke natte chemie veroverd.



9

Het waterleidingbedrijf kan deze organische stoffen uit het grondwater verwijderen door middel van filtratie. De organische verbindingen adsorberen aan het filtermateriaal, dat meestal bestaat uit korrels actieve kool. Als deze actieve kool is verzadigd wordt het filter van een nieuwe vulling voorzien.

Flessewater en kraanfilters

Berichten over de vervuiling van ons milieu staan dagelijks in de publicitaire schijnwerpers. Vanwege de vaak negatieve publiciteit rond de drinkwaterbereiding wordt het vertrouwen van de consument danig op de proef gesteld. Hier zijn fabrikanten en distributeurs op ingesprongen door apparaten aan te prijzen die het drinkwater aan de kraan kunnen nabehandelen. Fabrikanten van flessewater verdubbelen in veel gevallen hun advertentie-inspanningen om hun producten aan de man te brengen.

Na de onjuiste informatie in de publiciteit over de kwaliteit van het geleverde drinkwater is een aantal mensen overgegaan tot het kopen van flessewater. Een van de belangrijkste aanleidingen is de melding van de sporadische aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in drinkwater. De norm voor een bestrijdingsmiddel in drinkwater is 0,1 microgram per liter water. De gewichtsverhouding tussen de hoeveelheid



10. In een Petri-schaaltje heeft zich een microbiologische kweek gevormd van micro-organismen die zich in water kunnen bevinden. Ozonisatie gevolgd door actieve-koolfiltratie gaat het groeien van micro-organismen in leidingwater tegen.



10

Oppervlaktewaterzuivering

Oppervlaktewater ondergaat meestal eerst een voorzuivering waarna het wordt opgeslagen in open bekkens of in de ondergrond, bijvoorbeeld in zandpakketten onder duinen. Deze opslag dient om perioden te overbruggen waarin er onvoldoende oppervlaktewater beschikbaar is. Een tekort aan oppervlaktewater treedt op na een periode van droogte, of na het stoppen van de inname van rivierwater omdat

de kwaliteit ten gevolge van calamiteiten, zoals bedrijfsongevallen of aanvaringen van olietankers, onder de maat is.

De voorzuivering bevordert het transport van water door leidingen en voorkomt de verontreiniging van de natuurgebieden, zoals de duinen, die met het water worden geïnfilteerd. De voorzuivering bestaat vaak uit een coagulatieproces

INTERMEZZO

van een bestrijdingsmiddel en de hoeveelheid water is dan één op tien miljard. Anders gezegd: dezelfde verhouding als één mens op tweemaal de huidige wereldbevolking. In groenten, aardappelen, fruit, enz., kortom in ons gehele voedingspakket, consumeren Nederlanders en Belgen een veelvoud aan bestrijdingsmiddelen. Dit doen zij ook bij het gebruik van bepaalde tandpasta's of een duik in een gechloord zwembad.

Er is eigenlijk geen reden om flessewater te kopen, nog afgezien van het feit dat flessewater ongeveer duizend maal duurder is dan leidingwater. Belangrijk is bovendien de vraag of men flessewater met de zelfde nauwkeurigheid op microbiologische en chemische kwaliteit kan controleren als leidingwater. Bovendien kan er met het flessewater veel gebeuren tussen het vullen van de fles en de verkoop van het flessewater.

Andere mensen hebben de waterzuivering in eigen hand genomen. Zij hebben een speciaal filter gekocht en aan de kraan bevestigd. Uit onderzoek is gebleken, dat de kans zeer groot is dat deze kraanfilters, als gevolg van microbiologische groei en vervuiling tijdens achtereenvolgens fabricage, transport en bedrijf, de waterkwaliteit slechter maken dan de geldende drinkwaterkwaliteit. Het is derhalve niet aan te bevelen als doe-het-zelver in België en Nederland het subtiele werk van drinkwaterzuivering over te nemen.

Elders in de wereld is de situatie vaak geheel anders. Daar kan het gebruik van zuiveringsapparatuur op huishoudelijke schaal wel gewenst zijn. Tijdens vakanties in Oost- en Zuid-Europa, zelfs in de Verenigde Staten en zeker in andere werelddelen, is het daarom raadzaam zuiveringsapparatuur in de reisbagage mee te nemen.

en een snelfiltratie. Bij deze processen worden zwevende stoffen, bacteriën, virussen, fosfaten, zware metalen, ammonium, radio-actieve isotopen en organische stoffen voor een groot deel (circa negentig procent) verwijderd.

Bij het coagulatieproces voegt men meestal een driewaardig ijzerzout aan het water toe, dat oplost en ioniseert. Het ijzer(III)-ion (Fe^{3+}) vormt met hydroxyl-ionen uit het water ijzer(III)hydroxide-vlokken ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), die een driedimensionale netwerk vormen:



De genoemde verontreinigingen binden sterk aan het ijzer(III)hydroxide of raken in deze vlokken, die als visnetjes zijn te beschouwen, ingesloten. Door bezinking, flotatie of snelfiltratie scheidt men de vlokken met verontreinigingen van de waterstroom. Bovendien wordt het water gedurende de snelfiltratie van ammonium ontdaan op dezelfde wijze als beschreven bij de grondwaterzuivering.

Na terugwinning van het water uit de opslag ondergaat het een nazuivering. De keuze van de zuiveringsmethode hangt af van de nog aanwezige ongewenste verontreinigingen en kan daardoor in de praktijk zeer variëren. Meestal zal zij een snelfiltratie bevatten die de rest aan zwevende stoffen en ammonium uit het water verwijderd.

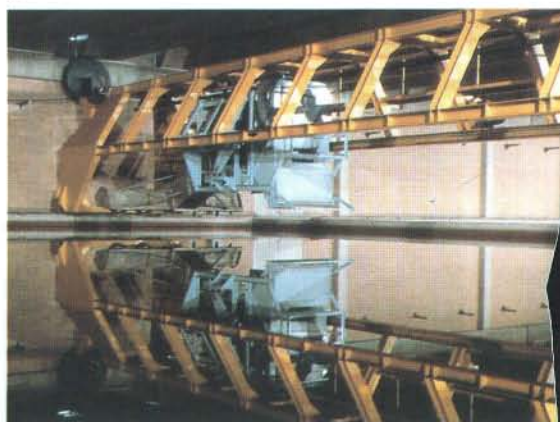
Ozonisatie – waarbij ozon (O_3), ter plaatse bereid uit luchtzuurstof of zuivere zuurstof, oplost in het water – zet ongewenste reuk-, kleur- en smaakstoffen om en bestrijdt micro-organismen, zoals bacteriën en virussen.

Tijdens de ontharding van het water reageert calcium met carbonaat tot calciumcarbonaat, zoals hiervoor is beschreven bij de zuivering van grondwater. Bovendien verwijderd dit proces op zeer effectieve wijze zware metalen en, indien aanwezig, een aanzienlijk aantal radio-actieve isotopen uit het water.

Door adsorptie aan actieve kool kan het gehalte aan organische stoffen, zoals microbiologische voedingsstoffen en toxische organische stoffen, worden verlaagd. In het geval van een fall-out, zoals na de ramp van Tsjernobyl, komt vrij veel radio-actief jodium via de neerslag in het oppervlaktewater terecht. Dit jodium bindt zich grotendeels aan organische stof, zodat een actieve-koolfiltratie een aanzienlijk deel van het jodium met de organische stof verwijderd.



11



12

Desinfectie of filtratie?

De laatste microbiologische barrière die men opwerpt is de zogenaamde langzame zandfiltratie. Dit is de oudste zuiveringsstap, een Engelse vinding die in het midden van de vorige eeuw verder in Europa is geïntroduceerd als een meer verfijnde variant van de toenmaals alom toegepaste waterput. Hierbij sijpelt een waterstroom door een zand- en grindlaag



11. Industriële watergebruikers zuiveren het tijdens het productieproces verontreinigde water, voordat het wordt geloosd op het oppervlaktewater. Zodoende wordt het aantal verontreinigende stoffen drastisch teruggebracht.

12 en 13. Bij de langzame zandfilters dient de bovenste laag regelmatig te worden verwijderd. Bij de Gemeentewaterleidingen Amsterdam verplaatst de krabmachine zich langs rails over het wateroppervlak (12). In Londen werken de filters twee miljard liter water per dag en vindt het krabben van het filter op grotere schaal plaats (13).



13

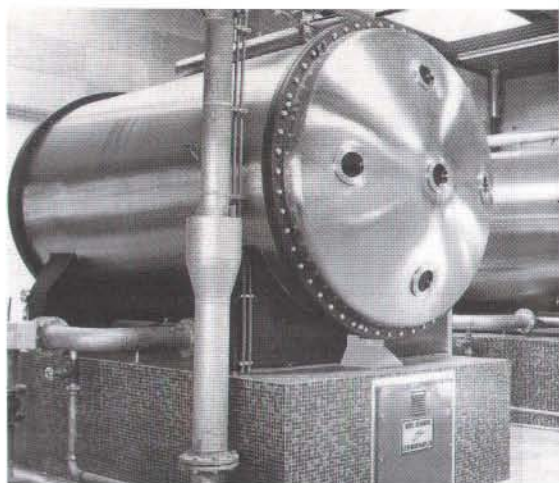
waarbij zich een bacterie-cultuur op de afzonderlijke zandkorrels heeft ontwikkeld. Deze bacteriecultuur kan ongewenste, vooral ziekteverwekkende, bacteriën afbreken, zonder zelf met de waterstroom te worden meegevoerd.

De afgelopen decennia is door een aantal waterleidingbedrijven de langzame zandfiltratie vervangen door een desinfectie met chloorgas of chloorbleekloog. De laatste vijftien jaar zijn echter nieuwe inzichten verkregen inzake de vorming van kankerbevorderende en kankerverwekkende verbindingen uit chloor en organische stoffen. Om het voorkomen van gechloreerde koolwaterstoffen in het drinkwater te verminderen, vindt chloren van het water steeds minder vaak plaats. In de Benelux is, in tegenstelling tot elders in de wereld, het gebruik van chloor als desinfectans sterk afgenomen en in sommige gevallen zelfs afgeschaft.

Het bovenstaande maakt duidelijk dat systemen voor de drinkwaterbereiding bijna anderhalve eeuw geleden bestonden uit slechts één zuiveringsstap, terwijl momenteel zuiveringsystemen met in totaal tien stappen geen uitzondering meer zijn.

Het gehalte aan sommige stoffen, zoals O_2 , OH^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , enz. dient in het uiteindelijke produkt drinkwater boven een bepaalde waarde te liggen, terwijl voor de meeste andere stoffen juist een maximale concentratie wordt gehanteerd. Aan welke kwaliteitsnormen het drinkwater in Nederland moet voldoen staat nauwkeurig beschreven in het Waterleiding Besluit, dat behoort bij de Waterleidingwet. Die normen zullen hier niet allemaal worden behandeld. In essentie komen zij op het volgende neer: drinkwater dient de volksgezondheid niet te schaden, moet aangenaam zijn om te drinken (smaak, kleur, geur) en comfortabel te zijn in het gebruik (bijvoorbeeld hardheid).

Drinkwater is een belangrijke component van het totale voedingspakket. Momenteel bewaakt men het leidingwater tijdens winning, zuivering en distributie in feite van bron tot kraan continu op zeventig eigenschappen.

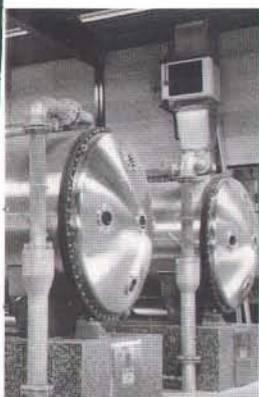


15

In de nabije toekomst is een aanzienlijke wijziging te verwachten van de EG-richtlijn 'Kwaliteitseisen drinkwater voor menselijke consumptie'. Het aantal te meten parameters zal hierdoor toenemen van zeventig tot honderdvijftig. Deze kwaliteitseisen, neergelegd in de Drinkwaterwet, komen als volgt tot stand.



14. Chloor wordt in Nederland in toenemende mate enkel voor noodgevallen in reserve gehouden als desinfectiemiddel. Bij het omgaan met het agressieve chloorgas hanteert men strenge veiligheidsrichtlijnen.



15 en 16. Grote generatoren zetten zuurstof uit de lucht om in ozon, O_3 . Dit omzettingproces is te vergelijken met de reactie die optreedt tijdens onweer. Het ozon wordt in grote bassins door het water geleid en breekt nog niet verwijderde micro-organismen en diverse organische verbindingen af.



16

Normen en volksgezondheid

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) vertaalt de volksgezondheidskundige inzichten naar kwaliteitseisen, waarin rekening is gehouden met zekere veiligheidsmarges. De Europese Gemeenschap neemt deze eisen vervolgens over in de door haar uitgegeven richtlijnen. De lidstaten dienen deze richtlijnen op te nemen in hun nationale wetgeving. Het is de lidstaten niet toegestaan ruimere normen te hanteren, maar wel strengere. Zo kennen de Nederlandse en de Belgische wet voor bepaalde kwaliteits-eisen inderdaad strengere normen.

Afgezien van wat de waterleidingbedrijven vanuit hun eigen verantwoordelijkheid doen, bestaan er procedures en instanties die het doen en laten van de waterleidingbedrijven met de nodige zorgvuldigheid en toezicht omringen. De openbare drinkwatervoorziening is met vele waarborgen omgeven wat de bewaking van de kwaliteit betreft. Datzelfde hoge niveau wordt ook behaald op het terrein van kennis, graad van organisatie en zorgvuldigheid van de bestaande kwaliteitsnormen.

Ondanks de toenemende vervuiling van ons milieu staan de waterleidingbedrijven nog altijd borg voor de levering van een ononderbroken stroom van goed drinkwater tegen een alleszins redelijke prijs. En toch bestaat er wel degelijk een zekere mate van ongerustheid bij een deel van de klanten van het waterleidingbedrijf.

Die ongerustheid is terecht wanneer het gaat om de bedreigingen die de openbare drinkwatervoorziening belooeren. Die bedreigingen zijn de stijgende waterverontreiniging en het gebruik van grondwater. De ongerustheid is zeker ongerechtvaardigd, wanneer het de kwaliteit van het geleverde produkt betreft. Voor geen enkel ander produkt zijn de wettelijke eisen zo veelomvattend en scherp opgesteld.

België en Nederland zijn twee landen met een rijke traditie op het gebied van de openbare drinkwatervoorziening. De verontreiniging van het oppervlaktewater door landbouw, industrie en 25 miljoen mensen verzaart de taak van de waterleidingbedrijven. Door te investeren in onderzoek hopen zij ook in de toekomst het probleem van de stijgende milieuverontreiniging het hoofd te bieden. Zo zullen in de komende jaren meer zuiveringsstappen nodig zijn, waardoor de totale kosten van de drinkwatervoorziening zullen stijgen met 25 tot 50 procent bij overigens ongewijzigd beleid. De kwaliteit van ons drinkwater zal daarmee wereldwijd tot het hoogste niveau blijven behoren.

Literatuur

- Graveland A. Kalkaanslag - Centrale ontharding van drinkwater. *Natuur & Techniek* 1987; 55: 4, 286-297.
Fried JJ. Grondwater - Voorraden bedreigd. *Natuur & Techniek* 1988; 56: 3, 198-209.

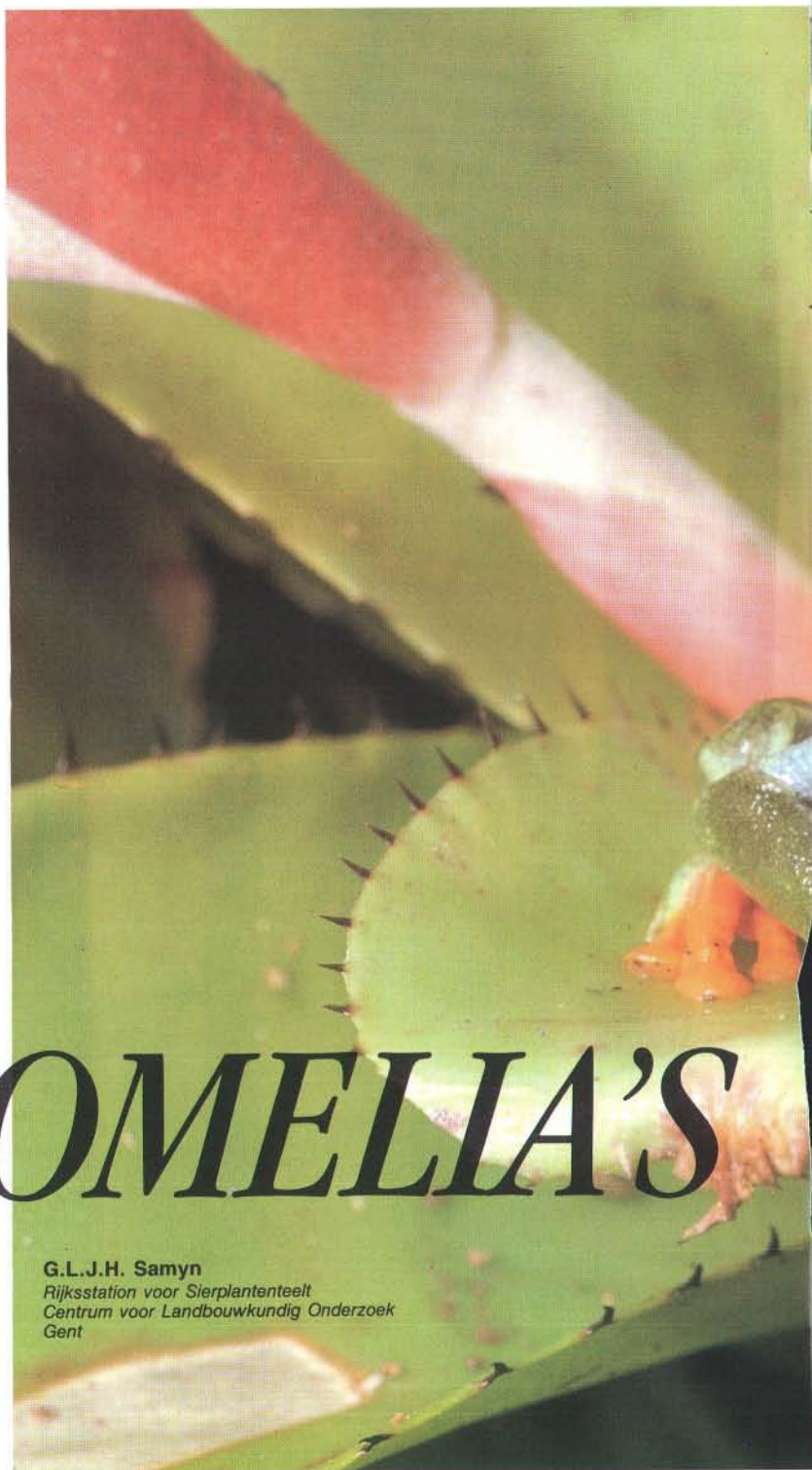
Bronvermelding illustraties

- Michiel Wijnbergh, Driebergen: 452-453 (achtergrond).
Britse ambassade, Den Haag: 13.
Innovation, ICI Europa Limited: 11, 16.
Overige illustraties: Gemeentewaterleidingen Amsterdam.



BROMELIA'S

G.L.J.H. Samyn
Rijksstation voor Sierplantenteelt
Centrum voor Landbouwkundig Onderzoek
Gent





OERWOUD ACHTER GLAS

Bromelia's werden zo'n honderdvijftig jaar geleden als sierplant in Europa geïntroduceerd. Dankzij de felle kleuren van hun bloeiwijzen en hun mysterieuze vormen waren het gewilde collectie-objecten voor vorsten en rijke handelaren. Toen de tuinbouw op een hogere versnelling overging, ging ook de bromeliateelt mee. Sinds meer dan een eeuw is die nu voor vele bedrijven een bron van bestaan. Nu pas krijgt men weet van de uiteenlopende fysiologische eigenschappen, die de soorten tijdens hun evolutie hebben ontwikkeld. Eigenschappen waarmee de telers terdege rekening moeten houden.

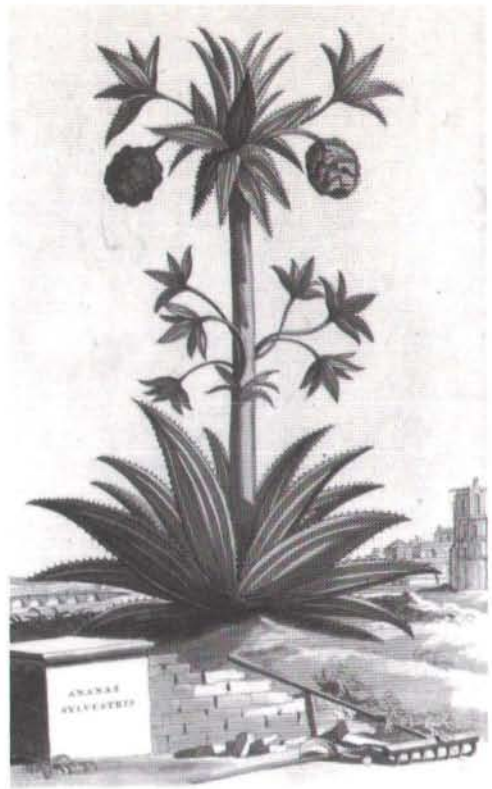
Nu met het regenbos ook de biotoop van bromelia's wordt bedreigd, loopt hun natuurlijke evolutie gevaar, maar dankzij de bemoeienis van de wetenschap worden ze betrokken in een nieuwe evolutie – die van de teeltoptimalisatie.

Bromelia's, vooral de soorten met een watergevulde bladkoker, vormen vaak een leefwereld op zich. Tot hoog in de kronen van de woudreuzen in een regenbos komen talloze 'meren' voor. Deze boomkikker voelt er zich thuis.

Sinds de ontdekking van nieuwe werelddelen en de exploratiereizen die daarna gedurende meer dan drie eeuwen volgden, kwam er een intensieve uitwisseling van planten op gang tussen Europa en de andere continenten. Soms gebeurde dat om wetenschappelijke redenen, zoals de studie van de plantensystematiek, maar er waren vaak ook commerciële motieven in het spel, bijvoorbeeld het zoeken naar medicinale planten of nieuwe voedingsgewas-



1



2

sen. Exotische planten werden slechts door liefhebbers in goeude kringen gehouden, want een tuinbouwcultuur gericht op massaproductie ontbrak.

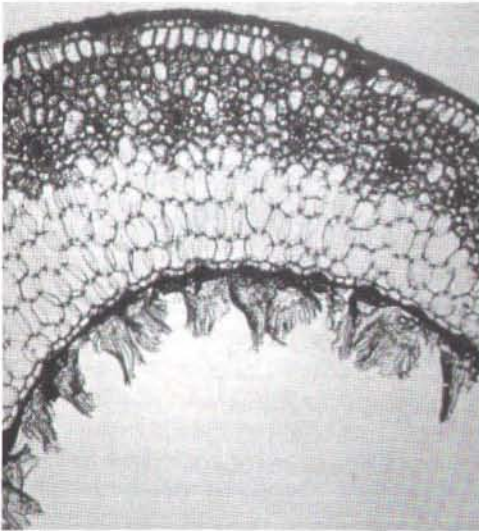
Pas in de negentiende eeuw wordt met de opgang van de burgerij een meer commerciële productie van exoten mogelijk. De introductie van Bromeliaceae past uitstekend in dit kader. Deze familie kent slechts één geslacht met consumptiewaarde: *Ananas*. Het is dan ook de ananas die in het Europa van de zestiende eeuw als eerste opduikt – zij het sporadisch – en vlug een begeerde vrucht wordt. Overigens vond reeds in de Precolumbiaanse tijd veredeling en selectie op ananas plaats. Ook de Zuid-amerikaanse indianen beschouwden de vrucht als een lekkernij.

Vanaf ongeveer 1830 duiken in reisverslagen en tuinbouwcatalogi vermeldingen op van Bromeliaceae als sierteeltprodukt. De goede houdbaarheid en de prachtige, felle kleuren van de planten en de bloemen maakten ze tot



3

gewilde collectie-objecten. Misschien is het toeval dat Bromeliaceae in de Belgische tuinbouw steeds een bevoorrechte plaats hebben ingenomen. Uit de tijd dat telers zich echte ontdekkingsreizigers toonden, dateren veel nieuw gevonden soorten. Belgische uitgaven die tot de klassieke tuinbouwliteratuur behoren, zoals *Flore des Serres*, *Illustration Horticole* en *Revue de l'Horticulture Belge*, droegen de roem van de Belgische bromelia naar alle hoeken van de wereld uit. Edmond Morren (1833-1886), directeur van de botanische tuin van Luik en dé bromeliakenner van zijn tijd, mag als gangmaker hiervan worden gezien. Hij heeft niet alleen veel telers geïnspireerd, maar ook in de wetenschappelijke wereld zijn invloed doen gelden.



4

1 en 2. De ananas werd na Columbus in Europa al snel een gewaardeerde vrucht, die kunstenaars en botanici inspireerde. De

3. Edmond Morren was in de vorige eeuw dé bromeliakenner van België. Hij

4. Trichomen of zuig-schubben zijn zeer kleine organen die op de bladeren van bromeliaceae

gravure laat zien dat over de plant wilde verhalen de ronde deden. In werkelijk is die ongeveer een meter hoog met één vrucht.

droeg zijn enthousiasme over de planten wereldwijd uit.

voorkomen. De planten kunnen via deze structuren water en voedingsstoffen opnemen.

Vele vormen

De benaming van de Bromeliaceae en het geslacht *Bromelia*, is ontleend aan de naam van de Zweedse arts en botanicus Olaf Bromel (1639-1705). De Bromeliaceae omvatten ongeveer tweeduizend soorten, verdeeld over een kleine vijftig geslachten. Sinds deze familie betekenis kreeg voor de sierteelt, is daar nog een moeilijk te schatten aantal hybriden bijgekomen. De Bromeliaceae zijn opgedeeld in drie subfamilies: de Pitcairnioideae, de Tillandsioideae en de Bromelioideae. De laatste twee bevatten de economisch belangrijkste geslachten. Bromeliaceae zijn niet altijd eenvoudig uit elkaar te houden. Daardoor is het vaker voorgekomen dat één soort onder verschillende geslachtsnamen werd beschreven.

De waarde van bromelia's voor de tuinbouw wordt vooral bepaald door hun vorm, die een aanpassing is aan hun natuurlijke milieu. Daarom worden de soorten doorgaans naar hun aanpassingsvorm onderscheiden. Er zijn epifyten, die op andere planten leven, en terrestrische soorten. Alleen deze laatste hebben een wortelstelsel dat zo goed ontwikkeld is dat ze als potplant kunnen groeien.

Bij de echte epifyten hoort *Tillandsia usneoides* of Spanish moss. Slechts de pas gekiemde zaailingen van deze plant vormen een worteltje, maar dat verdwijnt al vlug. De meeste epifytische soorten vertonen echter een beperkt wortelstelsel, dat een kleverige stof afscheidt die de plant op zijn plaats houdt.

Een tweede indeling is die tussen de kokerbromelia's, die met hun langwerpige bladeren een trechter of koker als waterreservoir vormen, en de bromelia's die deze koker niet hebben en voor hun waterhuishouding op vochtige lucht zijn aangewezen. Trichomen, een soort bladschubben waarmee de plant water en voedingsstoffen opneemt, hebben bij alle Bromeliaceae een belangrijke functie. Heel wat Bromeliaceae van het kokertype vormen een leefgemeenschap op zich. In hun natuurlijke omgeving kunnen volwassen planten meerdere liters water in hun koker bevatten. Hierin is dan een ecosysteem ontstaan van eencelligen tot kikkers, dat alleen in bromelia's voorkomt. In minder vochthoudende planten bevinden zich nogal eens schorpioenen. Dit is niet de poëtische natuur, maar wel het rijke tropische leven.



5

5. Ten behoeve van de bromeliateelt vindt veel wetenschappelijk onderzoek plaats, zoals dit, naar de ecofysiologie van de fotosynthese en de ademhaling. Met name snelle groeiers en koudetolerante planten moeten de produktiekosten drukken.

Bromeliaceae worden uitsluitend gevonden in Centraal- en Zuid-Amerika, tussen veertig graden noorder- en zuiderbreedte. Een uitzondering hierop is *Pitcairnia feliciania* die pas deze eeuw in het Afrikaanse Guinee werd ontdekt; misschien is haar aanwezigheid daar niet natuurlijk.

Als er inderdaad een scherp begreind gebied is waar de familie oorspronkelijk thuishoort, dan heeft ze zich wel in alle beschikbare ecologische niches kunnen vestigen. Bromeliaceae komen zowel voor in droge of in woestijngebieden, in tropische regenwouden, in nevelwouden en in koele bergstreken. Met name etagevormende bossen, met een goed ontwikkelde kruid- en struiklaag en meerdere kroonlagen, herbergen vaak een rijke variatie aan soorten. De planten danken de uitgebreide verspreiding in het gebied aan hun extreme aanpassingsvermogen. Slechts vorstbestendigheid komt bij Bromeliaceae niet voor.

Optimale teelt

In het assortiment dat voor commerciële teelt in aanmerking komt, bevinden zich soorten die zich in de loop van de evolutie aan de meest bizarre omstandigheden hebben aangepast. De soorten uit droge gebieden stellen hoge eisen

aan de hoeveelheid licht die ze ontvangen. Die uit het tropisch regenwoud ontwikkelden daarentegen een schaduwtolerantie. Misschien meer dan bij andere plantenfamilies betekent dit, dat de teler te maken krijgt met zeer uiteenlopende fysiologische reacties van de planten. Tot nu toe voer de teler blind op zijn ervaring, zonder dat hij weet had van de achtergrond daarvan.

Om de gevoeligheid van de planten voor omgevingsfactoren te temperen, is veredeling of weldra zelfs 'genetic engineering' onmisbaar. Erfelijke fysiologische eigenschappen zoals lichtrespons, koolstofassimilatiweg, mestbehoefte en hormonale regulatie van de bloei, zullen bepalend zijn voor een optimale teelt onder wetenschappelijke begeleiding. De moderne tuinbouw kan het eigenlijk niet meer zonder die begeleiding stellen; de bromeliateelt al helemaal niet.

De creatie van nieuwe cultivars heeft in de bromeliateelt steeds een belangrijke rol gespeeld. Tot voor kort besteedden de veredelaars alleen aandacht aan vormen en kleuren, maar nu betrekken zij ook allerlei fysiologische factoren bij de selectie. Naarmate er vaker kruisingen tussen geslachten tot stand komen, zullen steeds meer erfelijke eigenschappen invloed hebben op het eindproduct.

Bloei

Het was vrijwel steeds een probleem, om onder Europese omstandigheden een bromelia in bloei te krijgen. *Aechmea fasciata* bijvoorbeeld, een soort die in 1839 in Europa werd ingevoerd, bloeide pas na jaren voor het eerst. Liefhebbers wachtten dan ook steeds met spanning de bloei van een nieuwe soort of hybride af. Voor een rendabele teelt was dit uiteraard een enorm beletsel.

Rond 1900 werd bij toeval ontdekt dat de rookgassen waarmee men insecten bestreed, de bloei van ananas konden induceren. Later bleek dat het werkzame molecuul een onverzadigde koolwaterstofverbinding moest zijn, zoals ethyn (acetyleen), etheen (ethyleen) of propheen (propyleen). Uiteindelijk werd ethyn als actieve stof bestempeld. Dit leidde in 1936 tot het patent op calciumacetyliden (carbide) en in water opgelost ethyn als middel om bloei te in-

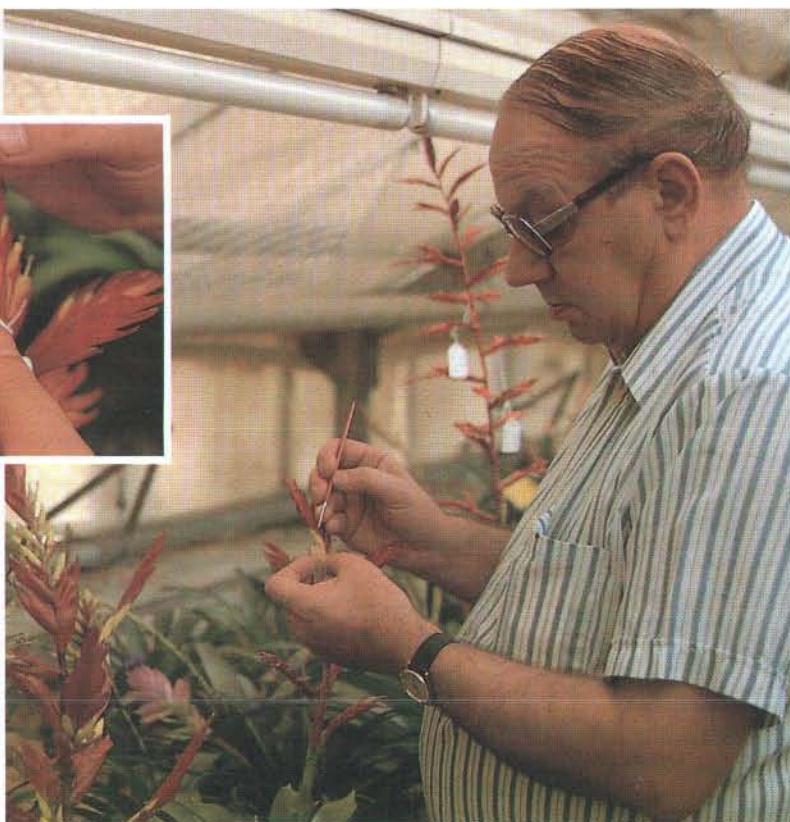
duceren bij ananas. Het effect van calciumacetyliden berust op het feit dat de stof in water ethyn vrijmaakt. In 1943 werd bij enkele geslachten vastgesteld dat etheen werkzamer is dan ethyn. De biologische activiteit van etheen is maar liefst 12500 maal groter dan die van ethyn. Sedert 1968 zijn ethrel of ethephon veelgebruikte bloei-induceerders. Uit deze producten ontstaat etheen bij een pH-verschuiving van 1 naar 5. Toch wordt op veel bedrijven nog steeds gebruik gemaakt van ethyn-verzadigd water.

Spontane bloei is in onze streken niet onmogelijk. Dit verschijnsel kan optreden zodra de planten het stadium van bloeirijpheid hebben bereikt, wat verband houdt met een bepaalde hoeveelheid bladmassa of met ouderdom. Zowel plotselinge veranderingen in temperatuur als in lichtintensiteit kunnen bloei veroorzaken. Spontane bloei is in teeltomstandigheden echter niet wenselijk, omdat partijen planten



6

6 en 7. Veredeling van bromelia's, hier via gecontroleerde bestuiving, is een werk van lange adem. Het duurt vaak wel tien jaar eer een nieuwe hybride in de handel komt.



7

dan niet homogeen tot bloei komen. Daarom worden etheenremmers onderzocht, die op de etheebiosynthese ingrijpen en zo de bloei voorkomen. Doordat de tijd die verloopt tussen een bloei-inducerende behandeling en het openen van de bloem soortspecifiek is, kan de bloei door toepassing van remmers en inducerders worden geprogrammeerd.

Licht in de teelt

De afgelopen twee à drie jaar heeft de toepassing van kunstlicht in de Nederlandse en Belgische tuinbouw een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt. De toepassing heeft zo'n hoge vlucht genomen, dat van milieuverstoring sprake is en de kassen nu zijdelings moeten worden afgeschermd. De zogenaamde assimilatiebelichting doet de planten sneller groeien en dat is uiteraard commercieel interessant, maar de positieve effecten ervan zouden wel eens zwaar overschat kunnen blijken. Niet zelden blijkt namelijk dat de kwaliteit van belichte planten bij de consument thuis sterk achteruit gaat.

Belichten gedurende bijna 24 uur per etmaal kan niet straffeloos. Voor de plant is het licht dat zij benut voor fotosynthese een onmisbare bron van energie. Maar licht verschaft de plant ook informatie over de omgeving. Met name de daglengte en de samenstelling van het spectrum dat de plant bereikt, reguleren tal van processen in de levenscyclus van een plant. Dit laatste is reeds lang bekend, maar blijft wegens zijn complexiteit nog altijd vatbaar voor allerlei hypothesen. (Zie Intermezzo I.)

Bromeliaceae kunnen als een goed voorbeeld gelden voor de invloed van licht. Vele Bromeliaceae zijn als typische schaduwplanten aan lichtarme omstandigheden aangepast: trage groei en zuinig met energie. Daartoe beschikken zij over structuren die bij lage stralingsenergie zeer efficiënt werken. Een typische aanpassing van schaduwplanten is het vermogen om voor nageslacht te zorgen via vegetatieve vermeerdering, zoals zijscheutenvorming. Bij lichtgebrek is kieming van het zaad en succesvolle concurrentie van jonge zaailingen met andere planten namelijk onmogelijk.

Door hun trage groei valt kunstmatige belichting voor uitsluitend assimilatie doeleinden te duur uit. Toch is er veel lichtenergie nodig om tot een volwaardige bloei te komen. Waar-

Planten en licht

Planten produceren molekulen die de eigenschap hebben licht te absorberen: de pigmenten. Voor een plant is licht niet alleen energie; het levert ook informatie over de omgeving. De hoeveelheid lichtenergie is vooral belangrijk voor de fotosynthese, waarin de fotosynthesepigmenten chlorofyl en carotenoiden de hoofdrol spelen. Slechts een gedeelte van het zonlichtspectrum wordt benut bij de fotosynthese, namelijk het licht met een golflengte van 400 nm tot 700 nm — het PAR gedeelte (Photosynthetic Active Radiation).

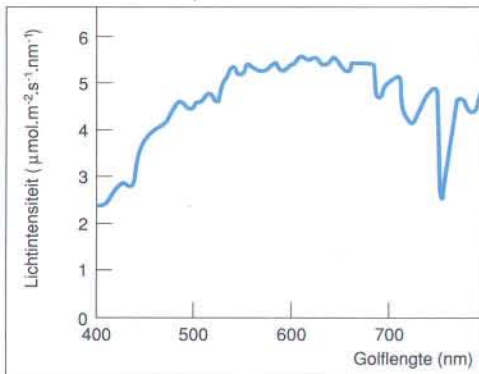
De meeste informatie over de omgeving ligt meer besloten in de verdeling van het licht over de verschillende banden van het zonnenspectrum, dan in de totale hoeveelheid. Die verdeling heet de lichtkwaliteit.

Planten, maar ook veel lagere organismen, bezitten mechanismen om specifieke informatie over het opvallende licht te verzamelen. Ze 'meten' niet alleen de hoeveelheid licht in de verschillende banden van het spectrum, maar kunnen die ook onderling vergelijken. Dit gebeurt met fotoreceptoren.

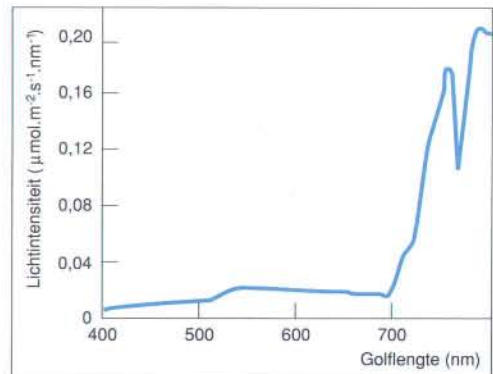
Het is niet aannemelijk dat dit kan gebeuren via slechts één enkele fotoreceptor. Er zijn tenminste drie fotoreceptoren bekend: een rood/verrood-absorberend fytochroom (verrood licht is het meest langgolfige zichtbaar licht, het is nog net geen infrarood), een blauw-absorberend cryptochroom en een fotoreceptor van UV-B (280-320 nm). Via de fotoreceptoren kan een plant of zaad de hoeveelheid, de hoofdrichting en de kwaliteit van het licht evalueren en hierop geschikt reageren, bijvoorbeeld door de groei te versnellen of bloei of kieming in gang te zetten.

Het bestaan van fytochroom als een receptor voor rood/verrood werd reeds tientallen jaren geleden bekend toen bleek dat de bloei bij korte-dagplanten, die tot bloei komen bij voldoende lange nachten, kan worden verhinderd door een korte lichtpuls met rood licht. Dit effect kan worden opgeheven door een puls met verrood licht. Binnen zekere grenzen blijft dit een omkeerbare reactie.

Fotoperiodiciteit is dus niet alleen een probleem van lichthoeveelheid maar ook van lichtkwaliteit. Een even bekend verschijnsel, dit maal ten gevolge van blauw licht en dus via een receptor uit de cryptochroom-groep, is het fototropisme, de groei van de plant naar de lichtbron toe. Het openen en sluiten van de huidmondjes wordt onder andere via cryptochroom geregeld. De toename van de hoeveelheid blauw licht ten opzichte van rood licht aan het begin en einde van de dag ligt hieraan ten grondslag. Een andere reactie van de plant op de kwaliteit van het licht is de kieming bij lichtbehoevende zaden.



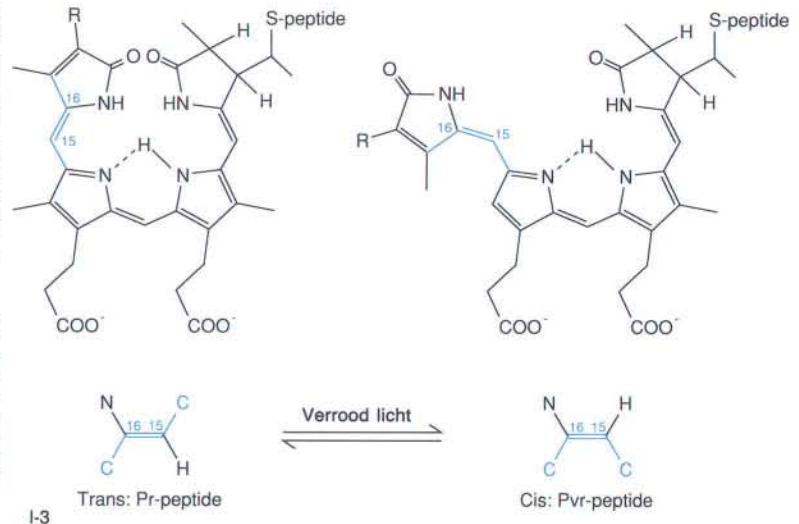
I-1



I-2

I-1 en I-2. Het zonlicht dat een plant bereikt heeft geen constante samenstelling. Het wordt gefilterd door atmosfeer en bladeren en varieert zo met de tijd van de dag, het seizoen en de omringende begroeiing. I-1 laat het spectrum midden op een zonnige zomerse dag zien, in I-2 is op dat tijdstip de lichtverdeling onder een bladerdek weergegeven.

I-3. Zodra meer rood dan verrood licht de plant bereikt, vindt er een cis-trans overgang in het fytochroom plaats en andersom. Dat beïnvloedt de biochemische activiteit van de receptor, wat zijn weerslag vindt in de groei van de plant.



De werking en de structuur van de fotoreceptoren is het meest bestudeerd bij fytochroom. De belangrijkste functie van dit pigment is het meten van de verhouding van het aantal fotonen in de band 655-665 nm (rood) tot deze in de band 725-735 nm (verrood). Meestal is deze verhouding constant (ca 1,15), maar onder bijvoorbeeld een bladerdek kan die veel lager zijn. Via het fytochroom kan dat een reactie in de plant teweeg brengen. Nog altijd is het voor een hele reeks reacties de vraag wat de aard is van de transductieketen, dat is de reactieweg tussen het ontvangen van een signaal (fotoreceptie) en de hiermee verband houdende reactie. Zeer recent zijn twee verschillende fytochroom-genen geïdentificeerd. Er zou meer dan één type fytochroom be-

staan: een lichtlabiele en een lichtstabile vorm die dikwijls samen voorkomen.

Vroeger vond veel onderzoek plaats aan planten die in duisternis opgekweekt waren, omdat de concentratie fytochroom daarbij hoger is en er geen interferentie is met chlorofyl, dat in het donker niet ontstaat. Momenteel zijn protoplasten die geïsoleerd zijn uit in het donker opgegroeide zaailingen, ideale modellen voor de studie van fytochroom. Zij zwelen snel op bij rood licht; een reactie die door verrood licht kan worden opgeheven. Via immunoreacties blijkt echter dat fytochroom uit groene planten niet helemaal identiek is met dat uit in het donker opgekweekte weefsels. Er blijven voorlopig nog heel wat vraagtekens omtrent de fotoreceptoren bestaan.



8

8. Commerciële teelt stelt hoge eisen aan de planten en de omgeving waarin zij groeien. Zo moeten alle

planten van een partij het zelfde ontwikkelingsstadium hebben. De planten die in de kas hangen zijn

epifytische soorten, zij groeien zonder ondergrond of op een klein stukje boomschors.

schijnlijk heeft de plant voor de vorming van een bloem energie nodig die gedurende die tijd bij de fotosynthese wordt vastgelegd. Dit is aannemelijk omdat er tussen bloei-inductie en volledige bloei meerdere maanden kunnen verlopen en bromelia's niet over een grote hoeveelheid reservevoedsel beschikken. In België vinden momenteel proeven plaats naar het gebruik van geselecteerde Bromeliaceae voor snijbloemenproductie. Elke plant vormt één bloem met een lange stengel, wat bijkomende eisen stelt aan de lichtomgeving.

Bij Bromeliaceae zijn er twee totaal verschillende koolstofbindingsmechanismen aanwezig: het klassieke C_3 -metabolisme en het *Crasulacean Acid Metabolism*, kortweg CAM (Intermezzo II). Het blijkt dat bij de Belgische Bromeliateelt zo'n 80% van de planten CAM vertoont. In Nederland maken CAM-planten zo'n 40% van de Bromelia-omzet uit. Het is voor de teelt dus een belangrijk metabolisme.

CAM- en C_3 -planten hebben een verschillend mechanisme voor CO_2 -binding. Daarom kunnen beide nooit onder optimale omstan-

digheden in één kas worden gekweekt. Het toedienen van extra CO_2 , wat de groei van de planten bevordert, is uiteraard enkel logisch in de periodes dat de planten CO_2 opnemen. Voor CAM-planten is dit 's nachts en in de periodes II en IV (zie Intermezzo II). Mogelijk is CO_2 -dosering tijdens de dag ook gunstig, om zo het aandeel van het C_3 -metabolisme in de CAM-planten te bevorderen. Ook temperatuurbeïnvloeding is niet weg te denken bij teeltoptimalisatie. Hoge dagtemperaturen zijn wenselijk voor het vrijmaken van CO_2 uit appelzuur. Het lage temperatuuroptimum van PEP-carboxylase ($14-18^\circ C$) vraagt echter om koelere nachten. Een combinatie van lage nacht- en hoge dagtemperaturen kan dus gunstig zijn voor Bromeliaceae van het CAM-type.

Bedreigde natuur in huis

Nog jaarlijks worden nieuwe bromeliasoorten gevonden. Dit mag uitzonderlijk lijken aan het einde van de 20e eeuw, het is echter een bewijs

van de belangstelling voor deze planten, die niet alleen leeft bij wetenschappers, maar ook bij een brede kring deskundige liefhebbers. Er vinden nog regelmatig echte exploratietochten plaats naar onherbergzame stukken Zuid-Amerika die wellicht hun bromelia-geheimen prijsgeven.

In het tropische regenwoud komen in de begroeiing verscheidene etages voor. Hoewel plantenverzamelaars nogal eens de weg verlaten, de hoofdwegen wel te verstaan, en zich in het oerwoud wagen, is het voor hen zeer moeilijk de bovenste etages van de vegetatie grondig te verkennen. Dikwijls komen de soorten uit de boomtoppen dan wel verderop in dezelfde streek in hogergelegen gebieden voor.

Hoewel bromelia's in de natuur nog niet zo worden bedreigd als bijvoorbeeld orchideeën, dringt de vraag zich op hoelang dat nog zo zal zijn. Bij de oogst in de natuur worden dikwijls ook de standplaatsen van andere planten vernietigd. Een ander groot gevaar is de stelselmatige vernieling van het tropische regenwoud en de omliggende gebieden die nu plaatsvindt. De biotoop van veel bromelia's gaat er voor goed mee verloren.

Bromeliaceae werden ooit verdelgd omdat ze koortsepidemieën zouden helpen verbreiden. Gelukkig zijn Bromeliaceae zeer sterke planten, die niet zo snel zeldzaam zullen worden, niet in de laatste plaats doordat ze in collectie zeer goed overleven en zich gemakkelijk



9



10



11



12

9, 10 en 11. Bromeliaceae vertegenwoordigen drie onderfamilies. *Nidularium ferdinandocoburgii* (9) behoort evenals *Ananas* tot de Bromelioideae, *Pitcairnia undulata* (10) tot de Pitcairnioideae en *Tillandsia cacticola* (11) tot de Tillandsioideae.

12. De jacht op bromelia's in hun natuurlijke omgeving bedreigt de plantensoorten nog niet, zolang die omgeving maar intact blijft.

CAM-planten

Het Crassulaceeënzuurmetabolisme *Crassulacean Acid Metabolism* of CAM is een alternatieve koolstofassimilatiweg. De meeste planten nemen alleen overdag koolstof (CO_2) op. CAM-planten nemen 's nachts CO_2 op en leggen het vast volgens de C_4 -syntheseweg. Daarbij is PEP(fosfo-enolpyruvaat)-carboxylase een essentieel enzym. De gevormde zuren, voornamelijk appelzuur, bezitten een vieratomig koolstofskelet en heten daarom C_4 -zuren. Ze worden worden tijdelijk opgeslagen in de grote vacuolen van de mesofylcellen (het mesofyl is het weefsel tussen de boven- en onderepidermiscellen van een blad). De volgende dag worden de C_4 -zuren in het cytoplasma gedecarboxyleerd, waardoor CO_2 ter beschikking komt van de klassieke C_3 -fotosynthese (Calvin-cyclus). Deze vindt plaats met behulp van RuBP(ribulose-1,5-bifosfaat)-carboxylase. Door

CO_2 's nachts vast te leggen en overdag weer vrij te maken, kunnen de huidmondjes overdag gesloten blijven, wat de verdamping van vocht uit de plant aanzienlijk beperkt. CAM is dus een goede ecologische aanpassing aan droogtestress, die vooral voorkomt bij woestijnplanten of epifyten die regelmatig watergebrek kennen.

Het dagelijks CO_2 -gasuitwisselingspatroon bij CAM-planten bestaat dus theoretisch uit CO_2 -opname 's nachts en geen opname overdag. In de praktijk kan dit verloop gecompliceerder zijn door C_3 -fixatie van CO_2 uit de lucht aan het begin en het einde van de lichtperiode. Deze afwisseling van normale C_3 -fixatie en C_4 -fixatie via het CAM-metabolisme geeft uiteindelijk een CO_2 -gasuitwisselingspatroon dat wordt gekenmerkt door vier fasen (zie afbeelding II-2).

laten vermenigvuldigen. Gespecialiseerde bedrijven in Zuid-Amerika hebben plantages van exotische soorten en kunnen zo aan een zekere vraag voldoen. Europese veredelaars houden zulke soorten achter de hand als een genenbank voor gebruik bij kruisingswerk. Toch beginnen sommige soorten langzaam maar zeker

echt zeldzaam te worden. Normale invoer van de Peruaanse *Tillandsia cacticola*, een van de sierlijkste epifytische tillandsia's, wordt zeldzaam en moeilijk. De mogelijkheden van 'open air tillandsia farms' in Zuid-Amerika zijn sterk afhankelijk van de transportmogelijkheden, en de verliezen tijdens de verzen-



13

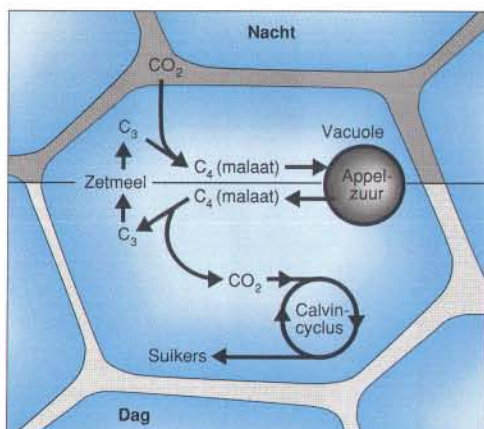
13. *Tillandsia cacticola* is een van de epifytische bromelia's waarvan de aanvoer uit Zuid-Amerika terug begint te lopen. Gentse onderzoekers bekijken of 'in-vitro-teelt' een alternatief kan bieden.

14. Vooral zeer gespecialiseerde plantensoorten verdwijnen vaak als gevolg van biotoopvernietiging. Door de aantasting van het Amazonewoud zullen ongetwijfeld nog niet beschreven Bromeliaceae uitsterven.

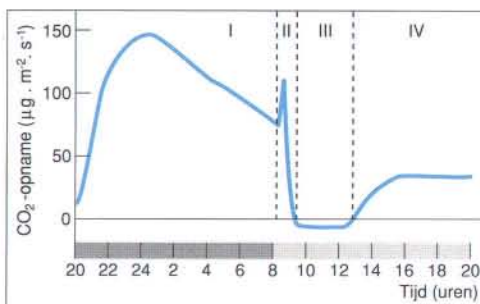


14

INTERMEZZO II



II-1



II-2

II-2. Als de huidmondjes van een CAM-plant geopend zijn neemt de plant CO₂ uit de lucht op. In fase

III zijn ze gesloten en verbruikt de plant de appelzuurvoorraad die hij 's nachts heeft gevormd.

ding zijn soms zeer groot. Het Rijksstation voor Sierplantenteelt in Gent stelt zich dan ook tot doel dergelijke planten via *in-vitro*-teelt in Europa in stand te houden.

Nu is deze werkwijze nog onrendabel ten opzichte van importeren. Het nut ervan zal in de toekomst zeker stijgen.



Literatuur

- Kendrick RD, Kronenberg GJM, red. Photomorphogenesis in Plants. Martinus Nijhoff Publishers, 1986, ISBN 90/247-3317-0.
- Lauwers L, Temmerman M. Aanwezigheid van het Crassulaceeënzuurmetabolisme (CAM) bij de als kasplant geteelde Bromeliaceae. Landbouwtijdschrift 1988; 41: 5 (september-oktober), 1103-1110.
- Van Dyck R, De Proft MP, Mekers O, De Greef JA. Bloeiëregulatie bij Bromeliaceae. Antwerpen: Mededeling van het centrum voor de studie van de hormonale groeiëregulatie bij planten, IWONL, 1987.
- Botterman J. Genmanipulatie van planten - De constructie van resistente rassen. Natuur & Techniek 1989; 57: 5, 378-387.
- Voesenek LACJ, Harren FJM, Woltering EJ. H₂C=CH₂ - Een gas als hormoon. Natuur & Techniek 1990; 58: 3, 204-215.
- Lindhout P, Kramer Th. Tomaten - Van massaselectie tot manipulatie. Natuur & Techniek 1990; 58: 5, 352-364.
- Zimmer K. Bromelien - Botanik und Anzucht ausgewählter Arten. Berlin en Hamburg: Verlag Paul Parey, 1986, ISBN 3-489-62024-0.

Bronvermelding illustraties

Bruce Coleman Ltd., Uxbridge, UK: pag. 464-465
 Verlag Paul Parey, Berlin en Hamburg/Prof dr Karl Zimmer: 4
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

DE ZOETE AANVAL

SUIKER IN HET LICHAAM

Tegenwoordig eten we ongeveer tien maal meer suiker dan pakweg tweehonderd jaar geleden. Het zou dan ook niet verwonderlijk zijn als daar nadelige kanten aan zitten. De evolutie van de mens heeft zich immers onder tamelijk Spartaanse condities voltrokken, en daarbij was het hoogst ongewoon dat er herhaaldelijk vanuit de darmen een toevloed van verteerde suikers naar het bloed plaatsvond. En dat gebeurt nu juist bij de talrijke koolhydraatrijke tussendoortjes van tegenwoordig.

Anna J. Furth
*Oxford Research Unit
The Open University*

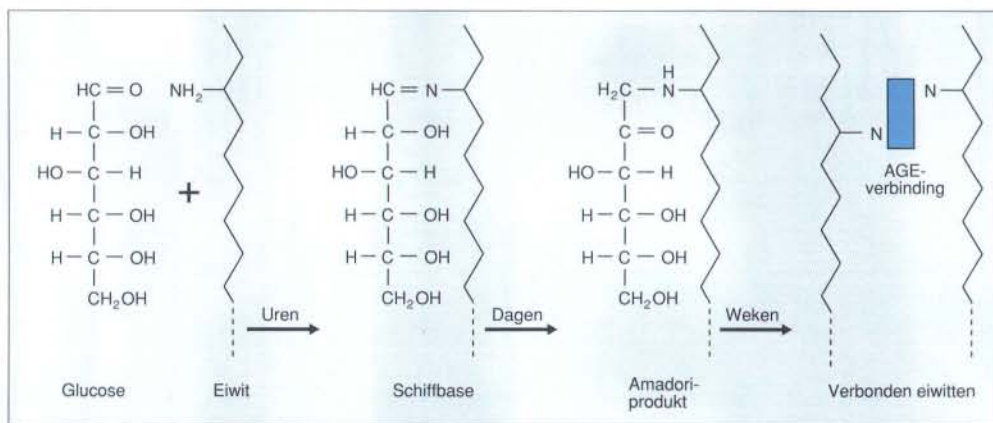




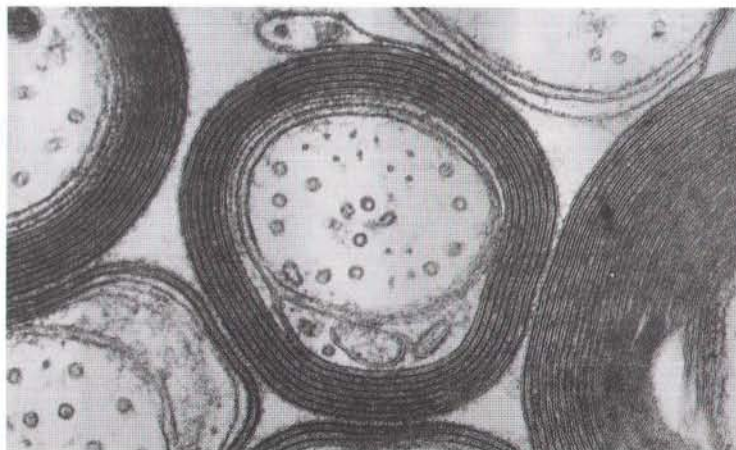
De meeste koolhydraten die zich in onze dagelijkse voeding bevinden – onder andere afkomstig van brood en aardappels – worden in het spijsverteringskanaal in de enkelvoudige suiker glucose omgezet. Doordat het lichaam tijd nodig heeft om die glucose van de darmen naar de andere delen van het lichaam te transporteren, stijgt in de tussentijd de glucosespiegel van het bloed sterk boven zijn normale niveau (afb. 10). Van diabetici is deze *hyperglycemie* maar al te goed bekend. Maar in feite ondergaat iedereen na een maaltijd met koolhydraten een lichte hyperglycemie, zeker de ouderen onder ons. Men neemt aan dat dit een van de oorzaken is dat ook bij ouderen de secundaire complicaties van diabetes kunnen optreden, zoals nier-, circulatie- en neurologische kwalen, atherosclerose en staar.



1



3



4

3. De stadia in de glycatie van eiwitten. Via de intermediaire Schiffbase wordt het eiwit omgezet in een stabiel Amadori-product, dat de mogelijkheid behoudt om zich met andere eiwitten te verbinden tot advanced glycation end products of AGE's.

4. Zenuwvezels zijn omgeven door een isolerende laag membranen, die zeer veel van het eiwit myeline bevatten. Glycatie van dit eiwit brengt mogelijk de prikkelgeleiding door vezels in gevaar.



2

1 en 2. Tot de Franse Revolutie vormde suikerriet de belangrijkste grondstof voor geraffineerde suiker. Pas toen Napoleon tijdens de oorlog met Engeland de handel met dat land verbood, kwam de productie van suiker uit bieten op gang.

Verstoorde eiwitten

Een gemeenschappelijke factor voor het ontstaan van diabetes en ouderdomskwalen zou de *glycatie* van eiwitten kunnen zijn – dat is een permanente verandering in de structuur van de lichaamseiwitten door een reactie met glucose. Sinds 1912 is deze reactie al bekend; toen onderzocht de Franse chemicus Maillard hoe het komt dat eiwitten geelbruin worden wanneer ze samen met suiker worden bewaard. Deze *Maillard-produkten* werden nadien ook *in vivo* aangetoond en *advanced glycation end products*, AGE's, gedoopt (toeval: lig betekent age in het Engels ouderdom).

In de jaren zeventig toonden onderzoekers uit Bristol de eerste AGE's aan. Zij ontdekten dat glucose op een abnormale manier aan collageen is gebonden (collageen is het structuureiwit dat vorm en soepelheid geeft aan onze huid, pezen en bloedvaten). Dit verschijnsel heet glycatie. Kort nadien werd in het bloed van suikerzieken geglyceerd hemoglobine aangetoond. Het gehalte hiervan is momenteel een betere indicatie om het verloop van diabetes te volgen, dan het steekproefgewijs meten van de glucosespiegel van het bloed.

Tijdens glycatie vormt een glucosemolekuul een sterke covalente binding met een eiwit. Dat gebeurt zonder tussenkomst van enzymen – iets wat in de biochemie een zeldzaamheid is. De reactiesnelheden van dit proces hangen dan

ook in hoofdzaak af van de concentraties van de reagentia, vooral glucose. Dit geldt bijvoorbeeld niet voor glycolysatie; dat is een door enzymen gekatalyseerde reactie waarbij de aangehechte suikers op andere plaatsen aan het eiwit zitten en daar een nuttige functie hebben. Bij glycatie, daarentegen, worden de suikers gebonden aan vrije aminogroepen ($-NH_2$), vooral aan de naar buiten stekende aminogroepen van het aminozuur lysine.

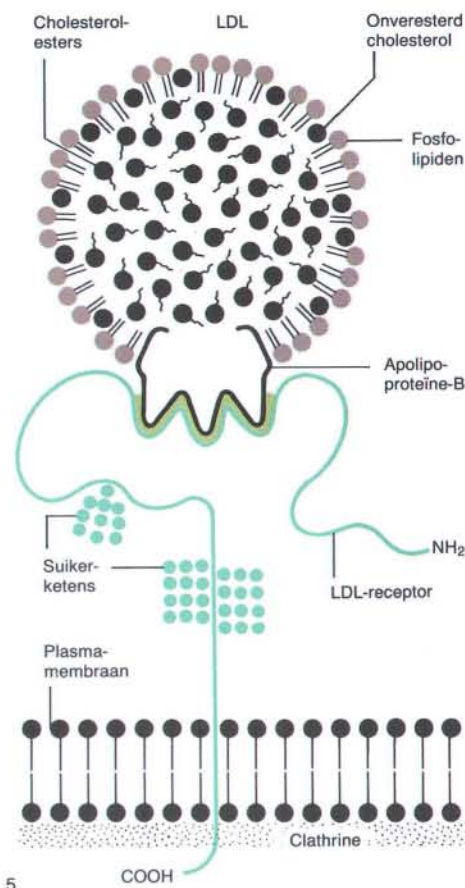
Multimoleculaire complexen

Het reactiemechanisme in afbeelding 3 laat zien hoe glycatie de biologische activiteit van een eiwit zou kunnen beïnvloeden. Elke suiker met een vrije carbonylgroep kan eiwitten glyceren. Hoewel glucose veruit de meest voorkomende suiker uit onze voeding is, is er steeds meer belangstelling voor L-fructose, een belangrijke component van kristalsuiker, met een sterk glycerende werking.

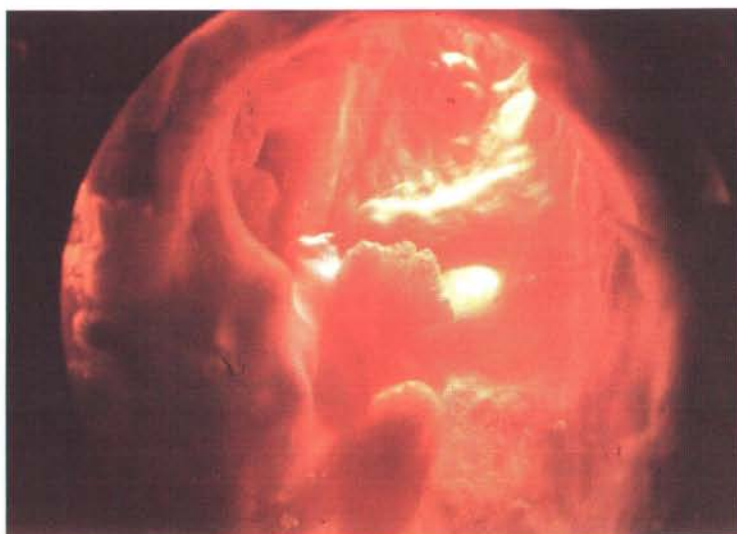
De eerste combinatie van glucose en eiwit is een Schiff-base (SB), die langzaam van structuur verandert – vaak dankzij de katalytische werking van nabij gelegen groepen op het eiwitoppervlak – en zo een eerste stabiele verbinding vormt, het Amadori-produkt (AP). Het AP reageert verder via zijn carbonylgroep ($-C=O$). Die kan, net als de carbonylgroep van glucose, reageren met aminogroepen op het eiwit. Door reacties met andere AP's ont-

staan ongewenste eindprodukten, de AGE's. AGE's zijn multimoleculaire complexen van onderling verbonden eiwitten die door glucose zijn beschadigd; ze zijn bestand tegen de normale afbraakmechanismen van het lichaam en stapelen zich voor de rest van het leven op in weefsels die daardoor worden aangetast. Vele AGE's zijn geelbruin en fluorescerend, net als de Maillard-produkten die voor het eerst in voedsel werden ontdekt.

Glycatie is een zeer trage reactie; de opeenvolgende stappen duren uren, dagen en weken. Daarom dacht men aanvankelijk dat de kwetsbaarste eiwitten (bloedeiwitten met een korte levensduur, zoals hemoglobine en serum-albumine) door onglyceerde nieuwe molekulen vervangen zouden worden, voordat de schade het AP-stadium zou zijn gepasseerd. Maar ook dan nog blijven er voldoende eiwitten over die zeer traag worden vervangen, als ze al worden vervangen. We mogen aannemen dat die eiwitten het proces tot aan de AGE's volledig kunnen doorlopen. Het glycatie-onderzoek heeft zich dan ook vooral gericht op eiwitten met een lange levensduur, zoals collageen en myeline (myeline vormt de isolerende schede rond zenuwvezels; glycatie zou wel eens tot neurologische afwijkingen kunnen leiden, zoals bij multiple sclerosis) — en niet te vergeten de cristallines (eiwitten uit de ooglenzen, die na glycatie mede staar veroorzaken).

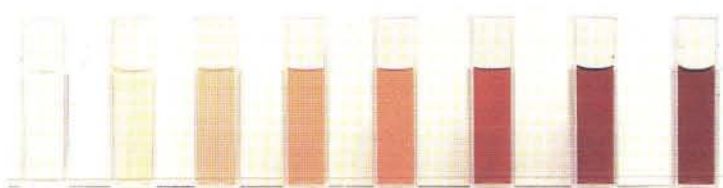


5, 6 en 7. Atherosclerose, zoals in deze kransslagader (6) die bijna dichtgeslibd is, kan het gevolg zijn van glycatie. Als daardoor de LDL-receptor en het apolipoproteïne van LDL (5) niet meer op elkaar passen, kunnen cellen moeilijker cholesterol uit het bloed verwijderen. Cholesterol kan zich dan, samen met vetdeeltjes (7), aan de vaatwand hechten. De suikerketens aan de LDL-receptor zijn normaal, ze zijn er via glycolisatie terechtgekomen. (6 en 7: ©Boehringer Alkmaar, fotografie Lennart Nilsson.)





7



8

8. Tengevolge van de glycatie van eiwitten ontstaan zogenaamde Maillardproducten. In deze buizen is de verkleuring te volgen, die gedurende drie uur bij 100°C optreedt in een oplossing met gelijke hoeveelheden van het eiwit α -alanine en glucose.

Suikerziekte

Ook type-IV-collageen is een dergelijk eiwit met een lange levensduur. Het is een belangrijk bestanddeel van de basaalmembraan; dat is de matrix waarin cellen zijn ingebed. Deze matrix filtert het bloed dat van de bloedvaten naar de cellen gaat en zorgt zo voor 'vloeibaar voedsel' of – in het geval van de nieren –

voor urine. Verdikking van de basaalmembraan is een van de ongewenste effecten van diabetes, die een oorzaak zou kunnen zijn van ongewenste veranderingen in het netvlies, de nieren en de bloedvaten. In ieder geval is het zo dat type-IV-collageen en ander componenten van de basaalmembraan, na glycatie in de reageerbuis, niet meer in staat zijn om een open filternetwerk te vormen.

De belangrijkste complicatie van diabetes, atherosclerose, schijnt eveneens door langdurige glucosebeschadiging te worden verergerd, zoals in het Rockefeller Instituut in New York werd aangetoond. Daar ontdekte men op het celoppervlak van macrofagen (de opruimers van ons immuunsysteem) receptoren die in staat zijn het AGE-deel van de eiwitten die door glucose zijn beschadigd specifiek te herkennen en zich daaraan te binden. De AGE's worden dan van het celoppervlak naar binnen gezogen en daar verteerd.

Dit mechanisme is nuttig voor het opruimen van ongewenste molekulen, of van oude cellen die op hun celwand AGE's hebben verzameld. Maar recent werk doet vermoeden dat de macrofagen door hun contact met AGE's worden gestimuleerd om groeifactoren uit te scheiden. Dergelijke stoffen activeren niet alleen de groei van componenten van de basaalmembran, maar ook van glad spierweefsel, wat een ongewenst kenmerk van de celwand is bij atherosclerose.

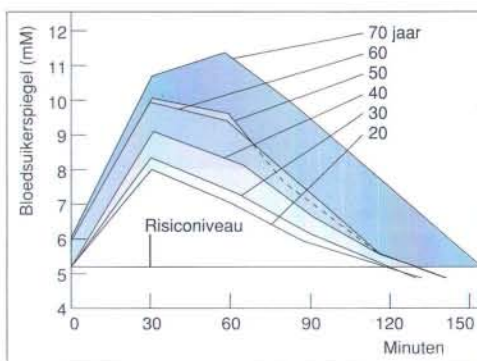
De lange-termijnschade van suiker mag dan op rekening komen van de AGE's, de problemen die door de daaraan voorafgaande glycatieproducten worden veroorzaakt mogen evenmin onderschat worden. Zowel SB's als AP's zijn eiwitten met een abnormale vorm en oppervlaktelading. Het is maar al te goed bekend dat minimale veranderingen in die twee eigenschappen ernstige gevolgen kunnen hebben voor de werkzaamheid van eiwitten. Het hoeft ons dus niet te verwonderen dat de activiteit van talrijke eiwitten met een korte levensduur eveneens door glycatie wordt verstoord, en zoiets leidt tot een reeks van vrij hinderlijke effecten. Het meest belangrijke gevolg is misschien wel het feit dat cellen voortaan minder cholesterolvervoerende lipoproteïnen uit het bloed kunnen opnemen. Eveneens belangrijk is het verschijnsel dat lange vetzuren zich moeilijker hechten aan serum-albumine, dat het belangrijkste transporteiwit van het bloed is.

Een top van de ijsberg

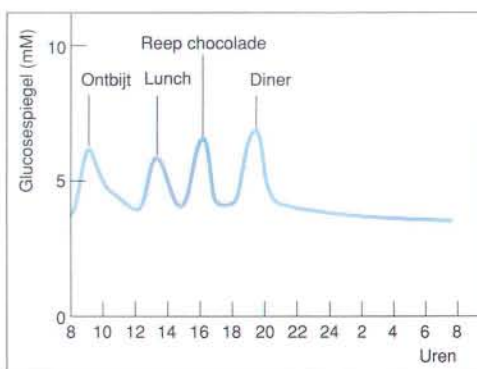
Hoe sterk de negatieve gevolgen van glycatie nu precies doorwerken op veroudering en diabetes is nog steeds niet duidelijk. Met goedkope apparatuur is het erg moeilijk om alleen al de hoeveelheden SB en AP te bepalen zonder

dat er andere lichaamsstoffen worden meegeteld. De AGE's zijn niet eens chemisch geïdentificeerd, zodat het nog lang kan duren voordat nauwkeurige bepalingen mogelijk zijn. Intussen bepalen de onderzoekers de hoeveelheden AGE's aan de hand van fluorescentie- of kleurveranderingen die optreden wanneer eenvoudige testeiwitten verscheidene weken met glucose *in vitro* worden geïncubeerd. Dergelijke spectrale veranderingen worden ook waargenomen in collageen en andere weefsels van diabetici en oudere mensen.

Maar nog steeds is niet onweerlegbaar aangetoond wat nu de fluorescerende stof is die deze veranderingen veroorzaakt, ondanks intensief onderzoek in de Verenigde Staten, Zwitserland, Japan en andere landen, en ondanks de inzet van dure en gevoelige technieken zoals hoge-drukvlloeistofchromatografie (HPLC), massaspectrometrie en kernspinresonantie (NMR). Waarschijnlijk zijn er verschillende fluorescerende AGE's, die alleen maar de top van de ijsberg vormen. Andere AGE's



9



10

zijn misschien niet fluorescerend, maar wel even schadelijk. Het aantonen van een binding tussen glucose en eiwitten die niet-fluorescerend is, is een van de belangrijke doelstellingen van het onderzoek op lange termijn.

Een verdedigingsmechanisme

Als men *in vitro* glucose toevoegt aan eenvoudige testeiwitten en dit mengsel verder met rust laat, ontstaat een ongezond uitziende donkerbruine oplossing. Dat is het uitgangspunt voor verder onderzoek naar de omzetting van AP naar AGE. Twee bemoedigende resultaten werden onlangs gemeld. Het ene is de ontdekking van carboxymethyllysine (CML). Dit is een derivaat van een AP via een aflopende reactie waarbij het geglyceerde eiwit niet in staat is om door onderlinge verbinding AGE's te vormen. Door de reactieve carbonylgroep via oxydatie te vernietigen, blijft er van het glucose-uitsteeksel slechts een niet-reactieve twee-koolstofgroep over, en de overige vier

koolstofatomen worden dan als een blijkbaar onschadelijk zuur afgevoerd. In huidcollageen en vooral in de ooglenen hoopt CML zich in de loop der jaren op, wat een duidelijk bewijs is dat glycatieproducten zich inderdaad levenslang kunnen ophopen. De oxydatie van AP tot CML is waarschijnlijk een van de natuurlijke verdedigingsmechanismen van het lichaam.

Een andere mogelijke verdediging is het blokkeren van de reactieve carbonylgroep in het AP met een 'snelle' aminogroep, dat wil zeggen een groep die gemakkelijker reageert dan de aminogroepen van het eiwit. Ook dat zou het AP verhinderen om eiwitten in AGE's om te zetten. Eenvoudige aminoverbindingen komen gewoon in het lichaam voor, en misschien bezitten mensen die het geluk hebben langzaam te verouderen meer van dergelijke AP-blokkeerders. Dit is pure speculatie, maar het blijft een leuk idee!

Door recent onderzoek heeft men in de reactietekenen tussen AP en AGE nog andere carbo-nylverbindingen als tussenproducten ontdekt.



9. Na het eten van koolhydraten stijgt het gehalte van glucose in het bloed, zeker als we ouder worden. De oppervlakte onder de curven geeft het extra risico op glycatie van eiwitten.

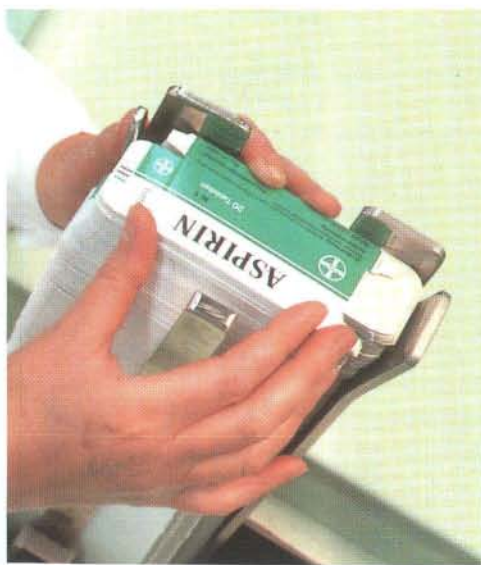
10. De glucosespiegel van het bloed neemt na een maaltijd toe en blijft dan gedurende twee uur hoger dan het normale niveau. Merk op dat het suikergehalte na een reep chocolade als 'vier-uurtje' evenveel stijgt als na een volledige maaltijd.

11. Vanwege zijn anti-oxydatieve werking is vitamine C misschien in staat glycatie in het lichaam tegen te gaan. In een reageerbuis blijkt de stof trouwens glycatie te bevorderen.

Er bestaat zelfs een bedrijfje (met als naam 'Geritech'!) dat aminoverbindingen ontwikkelt die deze tussenprodukten, of het AP zelf, kunnen neutraliseren. Favoriet is aminoguanidine, een stof die men op het eerste gezicht als giftig zou classificeren. Deze verbinding zou in de aorta van suikerzieke ratten de onderlinge verbinding van collageenmolekulen verhinderen en zou tevens de verdikking van de basaal-membraan verminderen. Bij korte klinische proeven bleken er 'geen schadelijke effecten' op te treden, maar tot nu toe kwam dit middel tegen glycatie niet verder dan een patentaanvraag voor 'het verhinderen van veroudering in voedsel en dierlijk eiwit'.

Een andere stof, die bekend staat om zijn 'beschermend effect' tegen staar, is het welbekende aspirine. Aangezien staar vaak door glycatie van lenseiwitten wordt veroorzaakt, bestaat het vermoeden dat aspirine een bruikbaar middel tegen glycatie kan zijn. Hoewel het niet duidelijk is hoe een en ander in zijn werk gaat, zijn er epidemiologische aanwijzingen dat niet meer dan één aspirientje per dag gedurende achttien maanden al gunstig werkt.

Anti-oxydantia zoals vitamine C en E vormen een derde mogelijkheid voor een therapie die glycatie tegengaat. Onlangs werd de gedachte geopperd dat de voornaamste weefsel-schade bij diabetes afkomstig kan zijn van vrije radicalen en andere oxydatieprodukten van glucose, die de eiwitten rechtstreeks aan-



12

vallen. In ieder geval is het zo dat het AP *in vitro* als een oxydator werkt, en dat vrije radicalen van glucoseverbindingen (zoals trouwens bijna alle vrije radicalen) sterk reactief zijn. We moeten echter wel in gedachten houden dat het lichaam oxydatie benut om kleine hoeveelheden AP om te zetten in CML, en dat vitamine C *in vitro* een uitstekend middel is om glycatie te bevorderen.

12. Hoe het werkt weet nog niemand, maar er zijn voorzichtige aanwijzingen dat Aspirine in staat is ons te beschermen tegen de veroudering van bijvoorbeeld lenseiwitten.

13. Hoewel na een stevige broodmaaltijd de glucosespiegel van het bloed behoorlijk stijgt, heeft men dan doorgaans even geen trek meer in zoete tussendoortjes, waardoor het suikergehalte van het bloed weer daalt tot het normale niveau.



13

Onze dagelijkse dosis suiker

Hoewel een middel tegen glycatie een goudmijn kan betekenen voor de farmaceutische industrie, is er natuurlijk een veel eenvoudiger manier om glycatie te verminderen: minder suiker eten.

Kristalsuiker (sacharose) wordt tijdens de spijsvertering omgezet in gelijke hoeveelheden glucose en fructose – en dat zijn allebei sterke glycantia. Sacharose is onze belangrijkste bron van geraffineerde koolhydraten. Bovendien leidt het ontbreken van grote koolhydraten (zetmeel en 'vezels') in een suikerrijk dieet tot nog meer snoepen en tussendoortjes, met andere woorden eetgewoonten die glycatie verder in de hand werken.

Door het drinken van een oplossing met vijftig gram glucose wordt het lichaam langer dan een uur aan een overmaat glucose blootgesteld – en die tijd neemt toe naarmate de middelbare leeftijd opruikt. Dat is af te leiden uit afbeelding 9, terwijl uit de moleculaire details van afbeelding 3 blijkt dat er alleen voor de eerste stap in het glycatieproces vrije glucose nodig is. Een deel van de SB's zal onherroepelijk in AP's worden omgezet en uiteindelijk in AGE's, ook nadat de glucosespiegel van het bloed al lang weer normaal is.

Het probleem met een suikerrijk dieet is dat mensen herhaaldelijk een maal kunnen nemen, wat met hyperglycemie gepaard gaat, zonder

dat ze zich daardoor opgeblazen of 'vol' voelen. Twee kleine glaasjes vruchtensap (zeg 450 ml), zes koekjes of een Marsreep is al voldoende om de curve van afbeelding 9 te reproduceren. Om met ongeraffineerde koolhydraten hetzelfde effect te krijgen moet men zich door vier sneden volkorenbrood heen kauwen; het mag ook een zeer grote aardappel of bijna een halve kilo appels zijn!

Speciale aandacht verdient ook de fructose in kristalsuiker. *In vitro* wordt hemoglobine door fructose zo'n vijf maal sneller aangetast dan door glucose, en bij veel typen eiwitten is fructose een 'betere' AGE-producent dan glucose. Hoewel de fructosespiegel van het bloed nooit een tiende bereikt van de glucosespiegel, kan de grotere reactiviteit van fructose dat deels compenseren. Bij diabetici bestaat er bovendien een reactieweg om glucose om te zetten in fructose, de zogenaamde sorbitol-weg.

Tot besluit kunnen we stellen dat er over de rol van fructose bij de glycatie meer informatie nodig is, en dat we dringend de AGE's moeten kunnen identificeren, zodat we de hoeveelheden nauwkeurig kunnen bepalen en zo hun vorming mogelijk kunnen verhinderen. Intussen blijft het verstandig met de vingers uit de suikerpot te blijven.

Dit artikel werd voor ons vertaald door lic P. Van Dooren.

Literatuur

- Hülsmann WC. Valkuil voor een binnenvetter – Nobelprijs geneeskunde 1985. *Natuur & Techniek* 1985; 53: 12, 950-955.
 Nijkamp FP. Aspirine – Kleine beetjes helpen. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 2, 142-151.
 Voorter CEM, Jong WW de. De ooglen – Kristalhelder eiwit. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 4, 322-333.

Bronvermelding illustraties

- Jamin, Oosterhoutse Zoetwarenfabriek (OZF) BV, Oosterhout: pag. 476-477
 Suikerstichting Nederland, Amsterdam: 1 en 2
 Cedric Raine, Albert Einstein College of Medicine: 4
 Hubel DH. Visuele informatie – Schakelingen in de hersenen. Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, deel 21, *Natuur & Techniek*, september 1990.
 Lennart Nilsson/Boehringer Alkmaar BV: 6 en 7
 Dr P.A. Finot, Nestec SA, Nestlé, Lausanne, CH: 8
 ACF Roterfarma BV, Hilversum: 11
 Bayer Nederland BV, Mijdrecht: 12
 Stichting Voorlichting Brood, Den Haag: 13



A black and white photograph of a desert landscape. The foreground is dominated by sand dunes with distinct, parallel ridges and shadows, suggesting a strong light source. In the middle ground, the terrain is flatter with some smaller dunes and a small, dark, rectangular structure or building visible in the distance. The background is a dark, featureless sky.

Govert Schilling
Utrecht

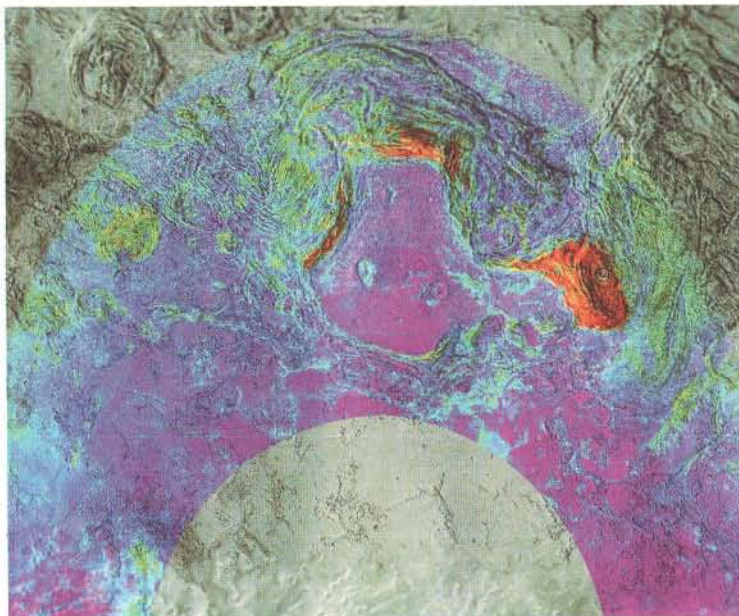


BEZOEK AAN VERRE BUREN

PLANETEN

Minder dan dertig jaar geleden werden de eerste schuchtere pogingen gedaan om de andere planeten in ons zonnestelsel van nabij te onderzoeken met behulp van onbemande ruimtevaartuigen. Met de succesvolle vlucht van Voyager 2 langs de verre planeet Neptunus werd dit pionierstijdperk afgesloten: op Pluto na is elke planeet nu van dichtbij bestudeerd. Het planeetonderzoek heeft verrassende inzichten opgeleverd over ontstaan en evolutie van het zonnestelsel, en astronomen zijn nu in staat de bonte verscheidenheid van de planeten in grote lijnen te verklaren.

Het zonnestelsel heeft een veelbewogen geschiedenis achter de rug. Kasei Valles op Mars is tegenwoordig een kurkdroge cañon, maar lang geleden heeft hier waarschijnlijk water gestroomd. Met de computer is een loodrechte Viking-opname omgezet tot dit perspectivische beeld, waarbij het verticale reliëf is overdreven.



1

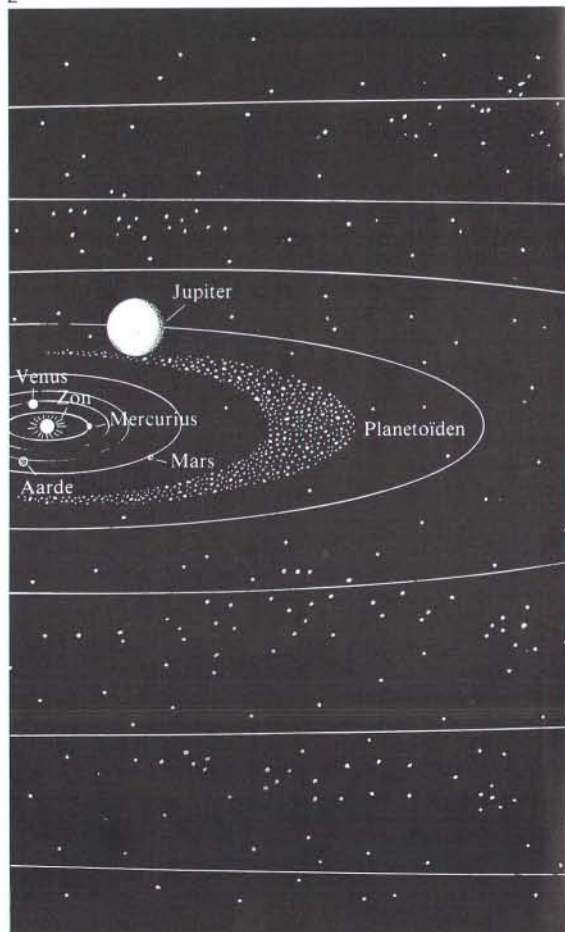
1. Het noordelijk halfmond van Venus is met behulp van radar in kaart gebracht. Deze radarkaart combineert metingen van Amerikaanse en Russische ruimtevaartuigen met aardse radarwaarnemingen. De verschillende kleuren geven hoogteverschillen aan. Het berggebied dat het dichtst bij de noordpool van Venus ligt is het Maxwell-gebergte, dat deel uitmaakt van de hoogvlakte Ishtar Terra.

Op 25 augustus 1989 heerste er in het Amerikaanse Jet Propulsion Laboratory in de eerste plaats een feeststemming. De vlucht van de planeetverkenner Voyager 2 langs de verre planeet Neptunus en zijn opmerkelijke maan Triton was een geweldig succes geweest. Maar tevens viel er enige melancholie te bespeuren. Per slot van rekening betekende de Neptunus-passage de afsluiting van een tijdperk. Een pionierstijdperk waarin nieuwe werelden werden ontdekt. "Dit was de laatste keer dat we een planeet voor de eerste keer zien", zei een van de wetenschappers.

In het zonnestelsel zijn momenteel negen planeten bekend (de aarde inclus), die allemaal van nabij door ruimtevaartuigen zijn onderzocht, op Pluto na. Op Mars en Venus zijn zelfs zachte landingen uitgevoerd. Pluto komt in de volgende eeuw ongetwijfeld een keer aan de beurt, maar zal tegen die tijd al uitgebreid bestudeerd zijn door de Hubble Space Telescope, die dit voorjaar is gelanceerd.

Nu astronomen met elke planeet kennis hebben gemaakt, hoe vluchtig dat in sommige gevallen ook was, is het tijd om die kennismaking te verdiepen. De tweede fase van het planeetonderzoek staat dan ook voor de deur. Sterker nog: er is al een begin mee gemaakt,

2



want vorig jaar werden Magellan en Galileo gelanceerd, die uitgebreid onderzoek gaan doen aan Venus, respectievelijk Jupiter.

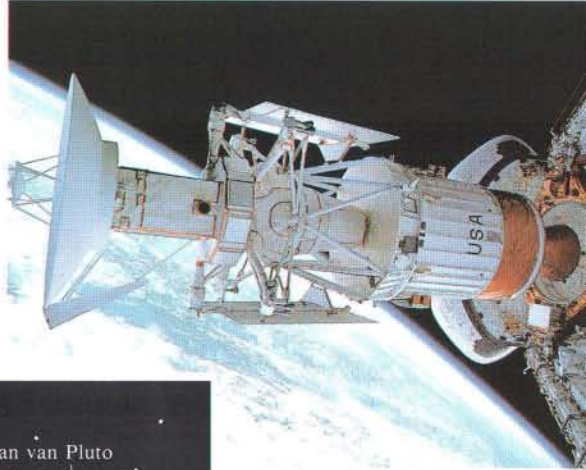
Hoewel er in de komende decennia dus nog spectaculaire onderzoeksresultaten verwacht mogen worden, hebben de eerste verkenningsvluchten al enorm veel nieuwe informatie opgeleverd over het ontstaan en de evolutie van ons zonnestelsel.

Bonte verscheidenheid

Van alle ruimtevaartuigen hebben de twee Voyagers (Voyager 1 vloog alleen langs Jupiter en Saturnus) de meeste nieuwe kennis over de vier reuzenplaneten opgeleverd. Dat zijn planeten die veel groter en zwaarder zijn dan de aarde (Jupiter is elf maal zo groot en ruim driehonderd maal zo zwaar), en bovendien voor een groot deel uit waterstof en helium bestaan, de twee lichtste elementen in het heelal. Mercurius, Venus, de aarde en Mars zijn

kleiner (de aarde is met een middellijn van 12756 kilometer de grootste van de vier), en bestaan grotendeels uit metalen en silicaten; ze worden de aardse planeten genoemd.

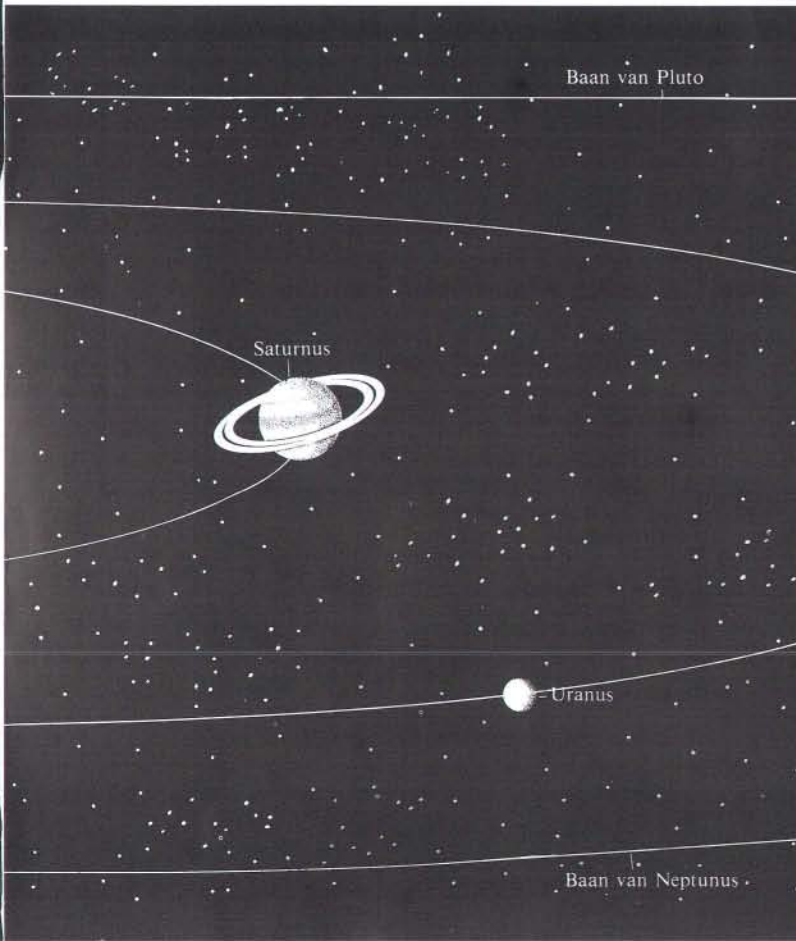
Elke planeet blijkt zo zijn eigen karakteristieke kenmerken te hebben. In feite is de verscheidenheid in het zonnestelsel veel groter dan sterrenkundigen dertig jaar geleden voor mogelijk hielden. Mercurius is een hemelli-



3

2. Schematische voorstelling van het zonnestelsel. De banen van de verschillende planeten zijn op schaal weergegeven, maar de planeten zelf zijn veel te groot getekend. De planetoidengordel markeert de grens tussen de aardse planeten (dicht bij de zon) en de reuzenplaneten.

3. In het voorjaar van 1989 werd de Venusverkenner Magellan met behulp van de Amerikaanse Space Shuttle gelanceerd. Komende zomer komt Magellan aan in een baan om de in wolken gehulde planeet Venus, waar hij het gehele planeetoppervlak gedetailleerd in kaart zal gaan brengen met behulp van radar.



chaam dat uiterlijk sterk op de maan lijkt: het oppervlak is bedekt met oude inslagkraters. De kleine planeet heeft geen dampkring, maar Mariner 10 ontdekte in 1974 wel een opvallend grote metalen kern.

Venus gaat juist schuil onder een bijzonder dichte dampkring: de luchtdruk aan het oppervlak bedraagt negentig atmosfeer. De meest produktieve Venusverkenner, de Pioneer Venus Orbiter, heeft in 1979 als eerste vrijwel het gehele oppervlak in kaart gebracht met behulp van radar. Er komen enkele zeer grote hoogvlakten voor, met kilometershoge bergen. Vermoedelijk zijn er zelfs actieve vulkanen op Venus. De Russische Venera 15 en Venera 16 verrichtten in 1983 veel gedetailleerdere radarmetingen, en ontdekten onder andere kraters en merkwaardige, cirkelvormige 'corona's'.

Ook Mars heeft een paar grote hoogvlakten, en zelfs een (vermoedelijk dode) schildvulkaan die zesentwintig kilometer boven de omgeving uitrijst. Maar dat is de enige 'overeenkomst'

De opbouw van de vier reuzenplaneten (Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus) is geheel anders. Ze hebben een zware kern van metalen en silicaten, met een massa van circa vijftien aardmassa's. Daarbuiten bevindt zich een vloeibare mantel van waterstof en helium. Aan de buitenzijde van de planeet, waar de druk minder groot is, komen deze stoffen in hun normale gasvorm voor, en gaat de mantel dus over in een dichte dampkring, waarin wolken van methaan, ammoniak en ammoniumhydrosulfide voorkomen. De vier reuzenplaneten worden alle vergezeld door een groot aantal manen. De grootste maan van Jupiter, Ganymedes geheten, is zelfs groter dan de planeet Mercurius. Ook hebben ze alle vier een ringensysteem, dat uit talloze kleine ijs- en gruisdeeltjes bestaat.

De buitenste planeet, Pluto, is een echt buitenbeentje. De middellijn bedraagt slechts 2200 kilometer, en het kleine, koude object bestaat voor ongeveer de helft uit ijs. Vermoedelijk is



4

met Venus: de dampkring van Mars is uiterst ijl, en de oppervlaktetemperatuur bedraagt gemiddeld twintig graden onder nul. Mariner 9 ontdekte in 1972 stromingsgeulen en 'opgedroogde rivierbeddingen' op Mars, die doen vermoeden dat er vroeger stromend water op deze planeet was. Tegenwoordig is Mars echter een dode planeet: de Viking 1 en Viking 2, die in de zomer van 1976 een zachte landing op het oppervlak maakten, zochten tevergeefs naar sporen van microscopisch leven.

het een overblijfsel uit de ontstaansperiode van ons zonnestelsel, toen er talloze van deze 'ijsballen' rondgezworven moeten hebben.

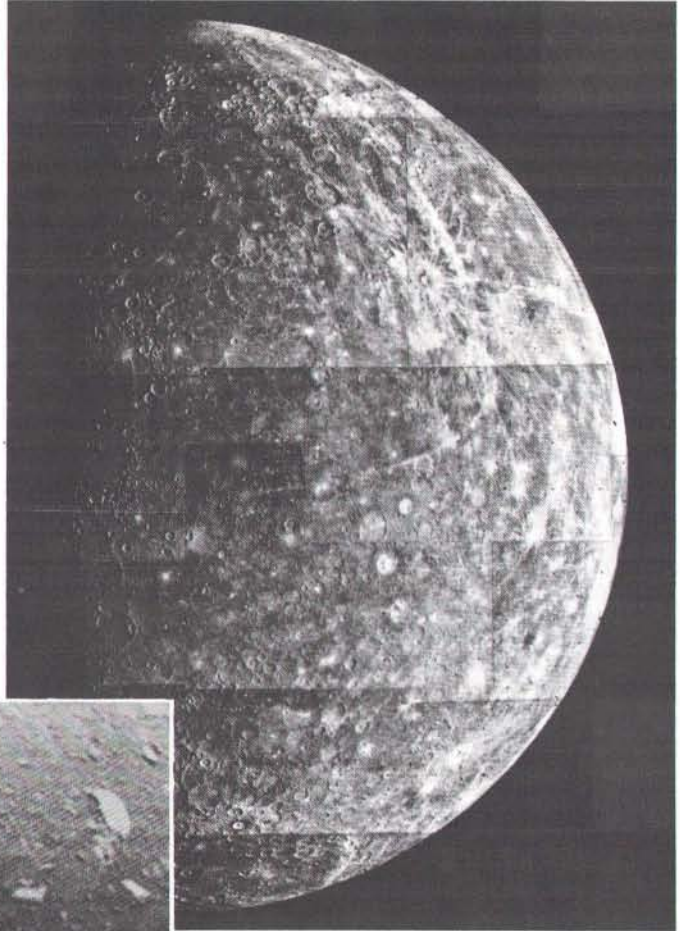
Het ontstaan van het zonnestelsel

Het planeetonderzoek van de afgelopen kwart eeuw heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de huidige inzichten over de vorming van de zon en de planeten. Het planetensysteem is in feite het 'bijproduct' van de vorming van één

5

4. Van het Venusoppervlak is niet veel bekend. Slechts enkele Russische Venera-landers hebben vlak na hun afdaling oppervlaktefoto's gemaakt. Op deze foto, gemaakt door de Venera 10, kijkt de camera schuin naar beneden. Onderaan de foto is het onderstel van de Venera te zien. De samenstelling van het gesteente wijst op een vulkanische oorsprong.

5. Mozaïek van verschillende opnamen van de planeet Mercurius, gemaakt door de Amerikaanse Mariner 10. Op het eerste gezicht lijkt deze planeet veel op onze eigen maan. De talloze inslagkraters wijzen op een roerig verleden. Van Mercurius is slechts één halfmond in kaart gebracht.



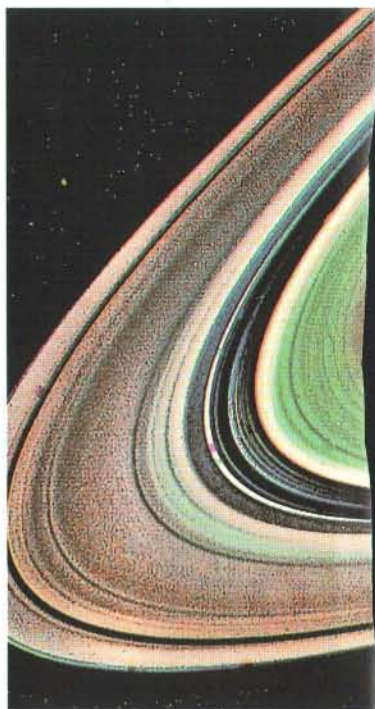
ster, onze zon. Zoals alle sterren ontstond de zon uit een zich samentrekkende interstellare wolk van gas en stof. Door de draaiing ervan raakte deze wolk afgeplat, en in die zogeheten zonnenevel ontstonden de planeten. Dicht bij de zon bleef de temperatuur zo hoog dat alleen elementen met een hoog smeltpunt in vaste vorm konden voorkomen: metalen en silicaaten, maar geen ijs. Uit deze stoffen vormden zich *planetesimalen*: rotsachtige objecten met een middellijn van enkele tientallen kilome-

ters, die zich uiteindelijk samenvoegden tot de aardse planeten. Verder naar buiten konden ook ijskristallen condenseren (voornamelijk waterijs), en ontstonden ijs-planetesimalen.

Nu valt direct het onderscheid tussen de aardse planeten en de reuzenplaneten te begrijpen. De aardse planeten ontstonden in een gebied waar alleen zware elementen in vaste vorm konden voorkomen, en daarvan was nu eenmaal niet zo veel voorhanden; interstellare materie bestaat voornamelijk uit waterstof en

helium. Het resultaat is vier kleine, rotsachtige planeetjes. Het aantal ijsplanetesimalen in de buitendelen van de zonnenevel was echter veel groter, en die konden zich dan ook samenvoegen tot zeer grote en zware *protoplaneten*. Die protoplaneten hadden voldoende zwaartekracht om gas en stof uit de zonnenevel aan zich te binden, waardoor ze een zeer uitgestrekt omhulsel van voornamelijk waterstof en helium kregen: de reuzenplaneten. Later werd het overgebleven gas uit de zonnenevel weggeblazen door de straling van de pas gevormde zon.

6. Eén van de grootste verrassingen van het Voyager-project was de gecompliceerdheid van het ringstelsel van Saturnus. De ontelbare smalle ringetjes en scheidinkjes worden waarschijnlijk veroorzaakt door de subtiële zwaartekrachtswerking van mini-maantjes en grotere brokjes ringmaterie.



7

Niet alle planetesimalen 'klonterden samen' tot planeten. Tussen de banen van Mars en Jupiter bevindt zich de planetoïdengordel, waarin vele duizenden objecten voorkomen van een paar kilometer groot. Waarschijnlijk zijn het planetesimalen die nooit een planeet vormden als gevolg van zwaartekrachtsstoringen van Jupiter. Van de miljarden ijsplanetesimalen die er eens waren, werd een groot deel het zonnestelsel uitgeslingerd door de zwaartekrachtswerking van de zich vormende reuzenplaneten.



8

7, 8. De kern van komeet Halley. Kometen bestaan naar men aanneemt uit de oermaterie waaruit ons zonnestelsel ontstond. Hoewel kometen kleine objecten zijn, kunnen ze bij een botsing met de aarde een geweldige ravage veroorzaken. In 1908 kwam een brokstuk van een komeet neer in een onbewoond deel van Siberië.



Zo ontstond de wolk van komeetkoppen (de Oort-wolk, genoemd naar de Leidse astronoom Jan Hendrik Oort), die de zon op zeer grote afstand omgeeft. Andere ijsplanetesimalen werden juist naar de binnendelen van het zonnestelsel gedirigeerd, en zorgden daar voor een waar kosmisch bombardement, waarvan de littekens nog zichtbaar zijn, onder andere op de maan en op Mercurius.

De lessen van het planeetonderzoek

Een astronoom schreef ooit: "Als Darwin in Engeland was gebleven, en daar de natuur had onderzocht, zou hij nooit op de evolutietheorie voor het leven op aarde zijn gekomen. Evenzo kan de evolutie van het zonnestelsel slechts begrepen worden door méér planeten te onderzoeken dan alleen de aarde." Het is inderdaad het vergelijkend planeetonderzoek geweest, dat nieuwe inzichten heeft verschaft in de processen die een rol spelen bij de vorming en de evolutie van de planeten. De bonte verscheidenheid in het zonnestelsel kan nu in grote lijnen goed verklaard worden.

Het reisplan

INTERMEZZO

Het principe van een reis naar een andere planeet is in feite heel eenvoudig. Alle planeten draaien in dezelfde richting om de zon, en een ruimtevaartuig dat vanaf de aarde wordt gelanceerd, krijgt de baansnelheid van de aarde ($29,8 \text{ km.s}^{-1}$) automatisch mee. Geef het ruimtevaartuig extra snelheid in de bewegingsrichting van de aarde, en het zal in een wijdere baan om de zon gaan draaien; geef het een snelheid in de tegenovergestelde richting, en het zal juist in een kleinere baan terecht komen. De lanceerdatum en de lanceersnelheid worden precies zo gekozen dat het ruimtevaartuig na verloop van tijd een ontmoeting heeft met een buiten- respectievelijk een binnenplaneet. Voor het volgen van zo'n Hohmann-baan (genoemd naar Walter Hohmann, die het principe al in de jaren twintig bedacht) is weinig eigen snelheid en dus weinig brandstof nodig.

Het nadeel van een Hohmann-baan is dat de reis toch nog lang duurt. Naar Venus of Mars valt het nog wel mee, maar een ruimtevaartuig dat via een Hohmann-baan van de aarde naar Neptunus zou reizen, heeft daar dertig jaar voor nodig. Voyager 2 deed het in twaalf jaar. Hoe kan dat?

In de zomer van 1961, voor er ook maar één geslaagde planeetvlucht was uitgevoerd, realiseerde wiskundestudent Michael Minovitch zich dat een ruimtevaartuig bij de passage van een planeet door de zwaartekracht naar een andere baan met een hogere snelheid gedirigeerd kan worden. Door de passerafstand nauwkeurig te kiezen, was het zelfs mogelijk een specifieke route 'uit te stippelen'.

Deze techniek van de 'zwaartekrachtsslinger' werd in 1974 voor het eerst in praktijk gebracht. De Amerikaanse Mariner 10 vloog via een Hohmann-baan naar Venus, maar het zwaartekrachtsveld van Venus boog het ruimtevaartuig af in de richting van Mercurius – twee vliegen in één klap. Pioneer 11 (gelanceerd in april 1973) vloog in december 1974 langs de reuzenplaneet Jupiter, en koerste daarna aan op een ontmoeting met Saturnus in september 1979. En Voyager 2 stal natuurlijk de show met zijn zwaartekrachtdans door het zonnestelsel: van Jupiter (juli 1979) naar Saturnus, van Saturnus (augustus 1981) naar Uranus, en tenslotte van Uranus (januari 1986) naar Neptunus, waar hij eind augustus 1989 aankwam – vier planeten in tien jaar.

TABEL Succesvolle ruimtevluchten naar de planeten				
Planeet	Ruimtevaartuig	Lancering	Aankomst	Bijzonderheden
Mercurius	Mariner 10 (VS)	3 - 11 - 1973	29 - 3 - 1974 21 - 9 - 1974 16 - 3 - 1975	Enige vlucht langs Mercurius; drie passages
Venus	Mariner 2 (VS)	26 - 8 - 1962	14 - 12 - 1962	Eerste succesvolle vlucht langs Venus
	Venera 4 (SU)	12 - 6 - 1967	18 - 10 - 1967	Meetgegevens doorgeseind tijdens afdaling in dampkring)
	Venera 5 (SU)	5 - 1 - 1969	16 - 5 - 1969	Idem
	Venera 6 (SU)	10 - 1 - 1969	17 - 5 - 1969	Idem
	Venera 7 (SU)	17 - 8 - 1970	15 - 12 - 1970	Zachte landing
	Venera 8 (SU)	26 - 3 - 1972	22 - 7 - 1972	Zachte landing
	Mariner 10 (VS)	3 - 11 - 1973	5 - 2 - 1974	Passage
	Venera 9 (SU)	8 - 6 - 1975	21 - 10 - 1975	Zachte landing; één foto van het oppervlak
	Venera 10 (SU)	14 - 6 - 1975	25 - 10 - 1975	Idem
	Pioneer Venus 1 (VS)	20 - 5 - 1978	4 - 12 - 1978	In baan om Venus (= Pioneer Venus Orbiter); eerste radarkaarten van het oppervlak
	Pioneer Venus 2 (VS)	8 - 8 - 1978	9 - 12 - 1978	Meervoudige sonde met vier zachte landingen op Venus
	Venera 11 (SU)	9 - 9 - 1978	21 - 12 - 1978	Zachte landing
	Venera 12 (SU)	14 - 9 - 1978	25 - 12 - 1978	Zachte landing
	Venera 13 (SU)	30 - 10 - 1981	1 - 3 - 1982	Zachte landing; één foto
	Venera 14 (SU)	3 - 11 - 1981	5 - 3 - 1982	Zachte landing; enkele kleurenfoto's
	Venera 15 (SU)	2 - 6 - 1983	10 - 10 - 1983	In baan om Venus; gedetailleerde radarwaarnemingen
	Venera 16 (SU)	7 - 6 - 1983	14 - 10 - 1983	Idem
	VEGA 1 (SU)	15 - 12 - 1984	10 - 6 - 1985	Passage; zachte landing en dampkringonderzoek met ballon
	VEGA 2 (SU)	21 - 12 - 1984	15 - 6 - 1985	Idem
	Magellan (VS)	4 - 5 - 1989	10 - 8 - 1990	Komt in een baan om Venus; zeer gedetailleerde radarmetingen
	Galileo (VS)	18 - 10 - 1989	10 - 2 - 1990	Passage (eindbestemming Jupiter)
Mars	Mariner 4 (VS)	28 - 11 - 1964	14 - 7 - 1965	Passage; 21 foto's
	Mariner 6 (VS)	24 - 2 - 1969	31 - 7 - 1969	Passage; 76 foto's
	Mariner 7 (VS)	27 - 3 - 1969	4 - 8 - 1969	Passage; 126 foto's
	Mars 2 (SU)	19 - 5 - 1971	27 - 11 - 1971	In baan om Mars; harde landing
	Mars 3 (SU)	28 - 5 - 1971	2 - 12 - 1971	In baan om Mars; zachte landing, maar na 20 s contact verloren
	Mariner 9 (VS)	30 - 5 - 1971	13 - 11 - 1971	In baan om Mars; 7329 foto's
	Mars 5 (SU)	25 - 7 - 1973	12 - 2 - 1974	In baan om Mars
	Viking 1 (VS)	20 - 8 - 1975	20 - 7 - 1969	Zachte landing; oppervlaktefoto's
	Viking 2 (VS)	9 - 9 - 1975	3 - 9 - 1976	Idem
	Phobos 2 (SU)	12 - 7 - 1988	29 - 1 - 1989	In baan om Mars
Jupiter	Pioneer 10 (VS)	2 - 3 - 1972	3 - 12 - 1973	Passage
	Pioneer 11 (VS)	5 - 4 - 1973	2 - 12 - 1974	Passage
	Voyager 1 (VS)	5 - 9 - 1977	5 - 3 - 1979	Passage
	Voyager 2 (VS)	20 - 8 - 1977	9 - 7 - 1979	Passage
	Galileo (VS)	18 - 10 - 1989	12 - 1995	Komt in een baan om Jupiter
Saturnus	Pioneer 11 (VS)	5 - 4 - 1973	1 - 9 - 1979	Passage
	Voyager 1 (VS)	5 - 9 - 1977	12 - 11 - 1980	Passage
	Voyager 2 (VS)	20 - 8 - 1977	25 - 8 - 1981	Passage
Uranus	Voyager 2 (VS)	20 - 8 - 1977	24 - 1 - 1986	Passage
Neptunus	Voyager 2 (VS)	20 - 8 - 1977	25 - 8 - 1989	Passage

Welke processen of factoren zijn er dan zo belangrijk in de bepaling van het uiterlijk van een planeet? In de eerste plaats speelt de massa van een planeet een grote rol. Bij het aaneengroeien van de planetesimalen tot (proto-)planeten komt veel warmte vrij in de vorm van botsingsenergie, waardoor de pas gevormde planeet een gesmolten inwendige zal krijgen. Daardoor kunnen vervolgens zware elementen (metalen, met name nikkel en ijzer) naar de kern zakken, terwijl de lichtere (rotsachtige) elementen naar boven 'drijven'. De aardse planeten hebben alle vier zo'n gedifferentieerde opbouw.

Omdat zich in de kern ook radio-actieve elementen, zoals uraan, ophopen wordt er bovendien voortdurend extra warmte geproduceerd. Naarmate een planeet zwaarder is bevat hij ook meer radio-actieve materie, zodat er meer warmte wordt geproduceerd. Bovendien staat een grotere planeet die inwendige warmte minder efficiënt af dan een kleinere: grote planeten hebben in verhouding tot hun volume een kleiner oppervlak. Het mag daarom geen verwondering wekken dat de aarde geologisch gesproken de meest actieve van de aardse planeten is. De kern is nog steeds gesmolten, en in de mantel worden stromingen opgewekt die

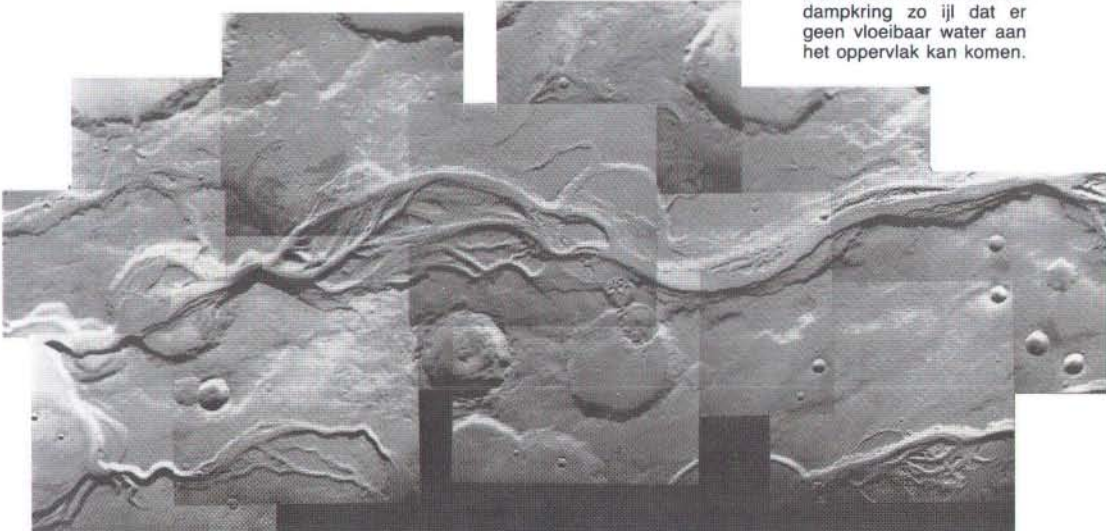
aanleiding geven tot continentverschuiving, gebergtevorming en vulkanisme.

Dat er op Venus (die bijna even groot is als de aarde) geen platentektoniek voorkomt, heeft volgens sommige onderzoekers misschien te maken met de afwezigheid van vloeibaar water op Venus. Hoe het ook zij: de inwendige warmte heeft zich op Venus slechts op een paar plaatsen een weg naar buiten kunnen banen, en boven die *hot spots* zijn de reusachtige hooglanden ontstaan.

Mars is aanzienlijk kleiner. Ooit is er wel actief vulkanisme geweest (waarschijnlijk zelfs tot ongeveer twee miljard jaar geleden), maar inmiddels is het inwendige van deze planeet aanzienlijk afgekoeld. En Mercurius heeft alleen kort na het ontstaan wat geologische activiteit gekend, getuige de honderden kilometers lange breuklijnen die op het oppervlak zichtbaar zijn.

Voor de evolutie van de aardse planeten speelde ook de afstand tot de zon een grote rol. Op Venus, die dicht bij de zon staat dan de aarde, verdampte het water, zodat koolstofdioxide (CO_2) dat onder andere door vulkanisme in de dampkring werd gebracht, niet langer werd 'uitgespoeld'. Het gevolg was een zichzelf versterkend broeikaseffect. Momen-

9. Een 'droge rivierbedding' op Mars, waarschijnlijk ontstaan door stromend water. Nu is de Marsdampkring zo ijl dat er geen vloeibaar water aan het oppervlak kan komen.

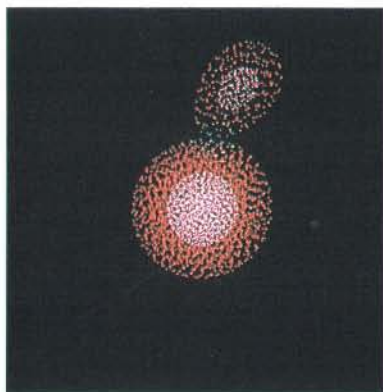


teel heeft Venus een enorm dichte dampkring die voor het overgrote deel uit CO_2 bestaat, en is de oppervlaktetemperatuur ongeveer vijfhonderd graden Celsius.

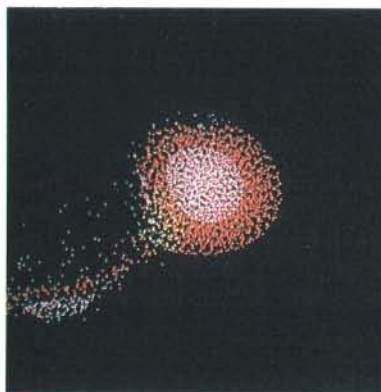
Op Mars gebeurde het tegenovergestelde. Ooit was de dampkring dicht en de oppervlaktetemperatuur hoger dan nu, zodat er vloeibaar water kon voorkomen (de sporen hiervan zijn nog steeds zichtbaar). Maar toen de geologische activiteit van Mars afnam, werd de koolstofdioxycyclus doorbroken: CO_2 werd nog wel door regen uit de dampkring gespoeld, waarna het zich aan oppervlaktegesteenten bond, maar er was geen vulkanisme meer om nieuw CO_2 in de atmosfeer te brengen. Het resultaat was dat de dampkring steeds ijler werd en dat het (betrekkelijk geringe) broeikas effect in sterkte afnam. De

10-13. Enkele beelden uit een computersimulatie van het ontstaan van de maan. Volgens een populaire theorie kwam de aarde kort na het ontstaan in botsing met een protoplaneet ter grootte van Mars. Uit de gevormde brokstukken klonterde later de maan samen.

14. Uitbarsting van een van de actieve zwavelvulkanen op de Jupitermaan Io. Het vulkanisme op Io is het gevolg van de sterke getijdenwerking van de reuzenplaneet Jupiter, waardoor veel inwendige hitte wordt opgewekt.



10



11



12

oppervlaktetemperatuur op Mars daalde, waardoor uiteindelijk al het water bevroor. Het water bevindt zich momenteel in een dikke permafrostlaag onder het oppervlak.

De aarde bevindt zich dus op het scherp van de snede: een delicaat evenwicht tussen een gloeiende hel en een koude diepvries. Zou de aarde kleiner zijn geweest, dan had zij hetzelfde lot ondergaan als Mars. Zou zij dichter bij de zon hebben gestaan, dan was er hetzelfde gebeurd als met Venus. Vergelijkend planeetonderzoek heeft laten zien dat de koolstofdioxycyclus eigenlijk een gevoelige thermostaat vormt, die bij het minste geringste op hol kan slaan. Geen wonder dus dat het astrono-

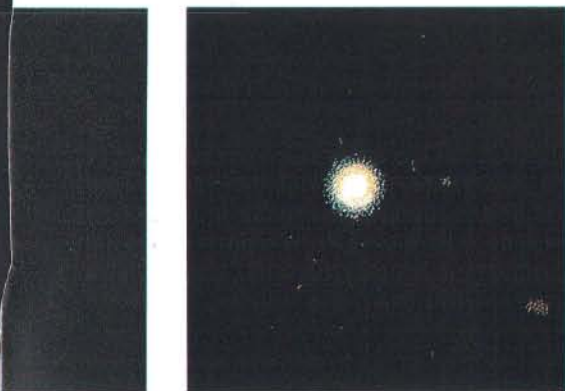
men waren die als eersten wezen op de gevaren van de menselijke overproductie van koolstofdioxide, die tot een kunstmatig versterkt broeikas effect leidt.

De manen van de reuzenplaneten

Het uiterlijk van de aardse planeten is dus voornamelijk bepaald door hun massa en afstand tot de zon. Opmerkelijk genoeg geldt iets soortgelijks voor de (grotere) manen van de reuzenplaneten, met name voor de vier grootste manen van Jupiter. Het ontstaan van die manen uit de 'Jupiternevel' vertoont veel overeenkomst met het ontstaan van de aardse



14



13

planeten in de zonnewevel. De proto-Jupiter was een krachtige warmtebron, en alleen in de buitendelen van de Jupiternevel konden ijskristallen condenseren: de manen Callisto en Ganymedes (de buitenste van de vier grote Jupitermanen) bestaan voor ongeveer de helft uit ijs. Europa en Io, die dicht bij Jupiter staan, bestaan voor het overgrote deel uit silicaten.

In het manenstelsel van Jupiter speelde bovendien nog een ander effect een rol: de getijdenwerking van Jupiter. Io ondervindt de sterkste getijdenkrachten. Daardoor wordt het inwendige verhit, met als gevolg dat er op deze maan actieve (zwavel-)vulkanen voorkomen; iets wat je normaal gesproken niet zou ver-

wachten op zo'n klein hemellichaam (Io is kleiner dan onze eigen maan). Diezelfde getijdenkrachten zijn er waarschijnlijk de oorzaak van dat er in de ijsmantel van Ganymedes wel convectiestromingen voorkomen, maar in de mantel van Callisto niet. Als gevolg daarvan vertoont het oppervlak van Ganymedes talrijke sporen van tektonische activiteit, terwijl het oppervlak van Callisto zo oud en dood is als dat van onze eigen maan.

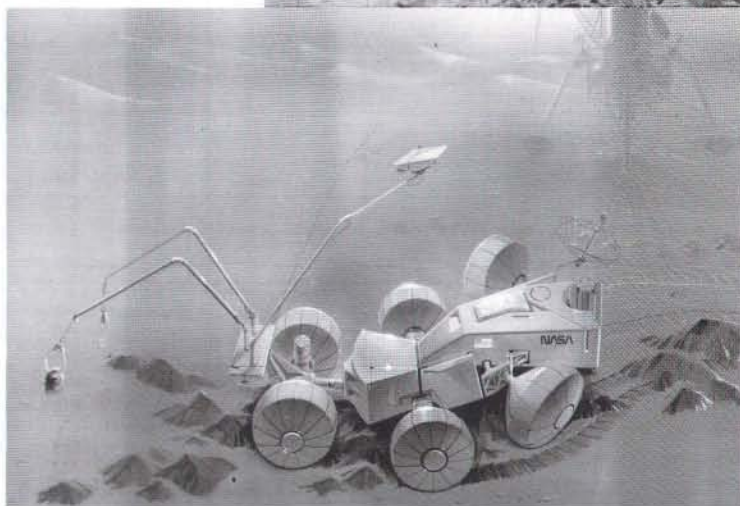
En ook het merkwaardige uiterlijk van de Neptunusmaan Triton moet aan getijdenkrachten worden toegeschreven. Triton heeft ooit een zelfstandig bestaan geleid in een baan om de zon (het object moet toen een evenbeeld van de planeet Pluto zijn geweest), maar werd zo'n drie miljard jaar geleden ingevangen door de planeet Neptunus. Triton kwam in een sterk hellende, zeer excentrische baan terecht, en ondervond zulke sterke getijdenkrachten, dat hij vrijwel geheel smolt. Toen de baan op den duur (onder invloed van diezelfde getijdenkrachten) cirkelvormig was geworden, koelde Triton weer af, en ontstonden er merkwaardige stromingspatronen aan het oppervlak.

Catastrofes in het zonnestelsel

Zo heeft het onderzoek aan de planeten veel inzichten opgeleverd over ontstaan en evolutie van het zonnestelsel. Maar de belangrijkste les van het planeetonderzoek van de afgelopen kwart eeuw is wel dat het zonnestelsel een bijzonder roerige jeugd heeft doorgemaakt, waarin catastrofale gebeurtenissen eerder regel dan uitzondering waren. Tegenwoordig wordt algemeen aangenomen dat het 'samenklonteren' van de planetesimalen tot de uiteindelijke negen planeten geen geleidelijk proces is geweest, maar dat zich als een soort tussenfase

15. In het begin van de volgende eeuw moet een onbemand robotvoertuig (de Mars Rover Sample Return Mission) op het Marsoppervlak rondrijden, op zoek naar interessante bodemonsters, die vervolgens naar de aarde gebracht zullen worden voor uitgebreid onderzoek.

16. De bizarre oppervlaktestructuren op de Neptunusmaan Triton zijn de stille getuigen van het roerige verleden van deze maan. Deze 'landkaart' van Triton is gemaakt op basis van de foto's die Voyager 2 in augustus 1989 van Triton maakte.



15

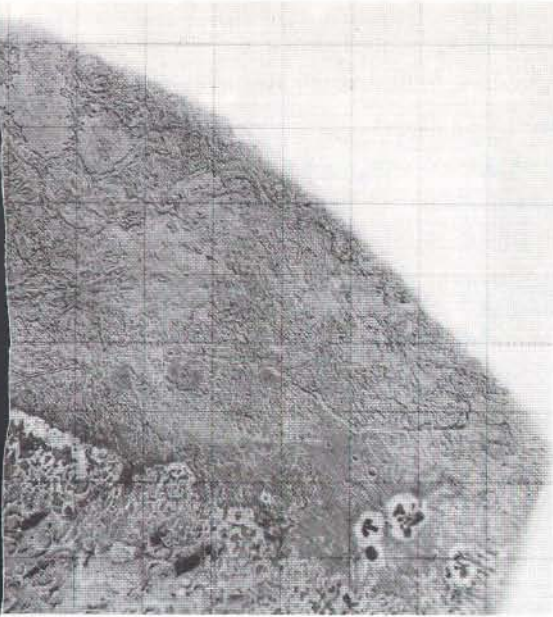
enkele honderden middelgrote protoplaneten hebben gevormd. Die protoplaneten hebben voor ware kosmische veldslagen gezorgd.

Computersimulaties hebben aannemelijk gemaakt dat Mercurius oorspronkelijk groter was dan nu, maar lang geleden door zo'n protoplaneet moet zijn getroffen. Daarbij werd het grootste deel van de rotsachtige mantel van de planeet in de ruimte geslingerd, terwijl het projectiel zelf werd verpulverd. Dat zou een verklaring zijn voor de relatief grote metaalkern van Mercurius. Volgens soortgelijke computersimulaties is onze eigen maan ontstaan uit de brokstukken van een botsing tussen de pas gevormde aarde en een protoplaneet

ter grootte van Mars. Momenteel is dit de enige plausibele theorie om het ontstaan van de maan te verklaren. De merkwaardige 'scheve' stand van de draaiingsas van Uranus (de draaiingsas ligt nagenoeg in het baanvlak) moet zo goed als zeker worden toegeschreven aan een hevige kosmische inslag, en hetzelfde geldt misschien voor de uiterst trage en teruglopende rotatie van de planeet Venus.

Toekomstig planeetonderzoek

Astronomen hebben nu een redelijk beeld van de evolutie van het zonnestelsel, maar er zijn nog talloze vragen onbeantwoord. Wat was



16

bijvoorbeeld de samenstelling van de oorspronkelijke zonnenevel? Welke geologische processen speelden op de planeet Venus een rol? Is er in het warme, natte verleden van Mars ooit leven op die planeet ontstaan? Wat is de opbouw en de samenstelling van de dampkring van de reuzenplaneten? Hoe ziet het er uit op de Saturnusmaan Titan, de enige maan in het zonnestelsel met een stikstofrijke dampkring en met oceanen van vloeibaar methaan?

Op al deze vragen hoopt men in het begin van de volgende eeuw antwoorden te hebben. Zowel de Amerikaanse NASA als de Europese

ESA hebben ambitieuze plannen voor ruimtevluchten naar kometen en planetoiden, waarbij zelfs bodemonsters naar de aarde gebracht moeten worden voor nader onderzoek. Naar men aanneemt hebben deze kleine objecten nog een 'primitieve' samenstelling, die de samenstelling van de zonnenevel weerspiegelt. Het ruimtevaartuig Magellan begint deze zomer aan het in kaart brengen van het Venusoppervlak met een ongeëvenaarde nauwkeurigheid. De Amerikaanse Mars Observer (lancering in het najaar van 1992) en de Russische Mars 94 zullen uitgebreid onderzoek gaan doen aan de Rode Planeet, en rond de eeuwwisseling zullen bodemonsters van Mars naar de aarde worden gebracht, zodat er naar fossiele sporen van leven gezocht kan worden. Galileo, die in oktober 1989 werd gelanceerd, zal in de komende jaren onderzoek doen aan de aarde, de maan en twee planetoiden, en in december 1995 bij Jupiter aankomen. Twintig maanden lang zullen de planeet en zijn vier grote manen uitgebreid onderzocht worden, terwijl een capsule met meetinstrumenten aan een parachute in de Jupiterdampkring wordt neergelaten. Een soortgelijke instrumentencapsule, Huygens genaamd, gaat in 2003 een afdaling in de dampkring van Titan maken. Huygens is de Europese bijdrage aan het Amerikaanse Cassini-project voor onderzoek aan de planeet Saturnus.

De afgelopen kwart eeuw heeft ons eigenlijk niet veel meer geboden dan een vluchtige kennismaking met de werelden naast de aarde. Het echte planeetonderzoek moet nog beginnen, en als de ontdekkingen van de laatste jaren maatgevend zijn, staan ons onverwachte en spectaculaire ontdekkingen te wachten.

Literatuur

- Schilling G. Werelden naast de aarde. Amsterdam: Uitgeverij Wereldbibliotheek (verschijnt najaar 1990).
 Morrison D, Owen T. The planetary system. Addison-Wesley, 1988.
 Beatty K, Chaikin A, O'Leary B, red. The new solar system. Sky Publishing Corporation en Cambridge University Press, 1990, 3de druk.
 Gerard Bodifée – Satellieten en dubbelplaneten - De manen van het zonnestelsel. Natuur & Techniek 1986; 54: 1, 18-29.
 Smoluchowski R. Het zonnestelsel – De aarde en haar kosmische burens. Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, deel 6, Natuur & Techniek, 1986.

- Friedman H. Zon en aarde – Een warme relatie. Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, deel 18, Natuur & Techniek, 1989.

Bronvermelding illustraties

- Mark S. Robinson, University of Hawaii en Ken L. Tanaka, US Geological Survey: pag. 486-487
 US Geological Survey, met dank aan Alfred McEwen: 1
 NASA/JPL, Pasadena: 3, 5, 6, pag. 494, 9, 14 en 15
 ESA: 7
 Sovfoto: 8
 William Benz, Harvard-Smithsonian Centre for Astrophysics: 10-13
 US Geological Survey, met dank aan Pat Bridges: 16



Met grote regelmaat vestigen de media onze aandacht op de gevaren van milieuverontreiniging voor de volksgezondheid. De risico's van het wonen op gifgrond, het optreden van zomersmog en het voorkomen van dioxine in zuivelprodukten uit de omgeving van vuilverbrandingsinstallaties zijn slechts enkele voorbeelden uit een lange reeks. Niet zelden is de verontrusting gebaseerd op het gegeven dat 'de norm' is overschreden of dreigt te worden overschreden. In dit artikel wordt de totstandkoming van 'normen' – deftiger: 'Milieukwaliteitsnormen ter bescherming van de volksgezondheid' – nader belicht.

De industrie is niet alleen verantwoordelijk voor de toegenomen welvaart in België en Nederland, maar heeft ook bijgedragen aan de verontreiniging van het milieu. Toenemende kennis omtrent de giftigheid van diverse verbindingen en de verspreiding van deze stoffen in ons milieu heeft geleid tot verlaging van aanvaardbaar geachte blootstellingsniveaus.

The background of the entire page is a photograph of an industrial landscape at sunset. The sky is a mix of orange, red, and dark blue, with thick white smoke or steam rising from the industrial structures. In the foreground, the silhouettes of various industrial buildings and smokestacks are visible against the bright, low sun. The sun itself is a large, glowing yellow-orange circle positioned slightly to the left of the center.

DE NORM

VOOR EEN GEZOND MILIEU

B. Brunekreef

Vakgroep Gezondheidsleer Landbouw Universiteit Wageningen

Om de volksgezondheid tegen de nadelige invloeden van milieuverontreiniging te beschermen, zijn in de afgelopen decennia vele milieukwaliteitsnormen opgesteld. Dit gebeurde onder andere voor de concentraties verontreiniging in lucht, water, bodem of voedsel. In enkele gevallen zijn ook normen opgesteld voor de hoeveelheid verontreiniging die in het menselijk lichaam aanwezig mag zijn. Een voorbeeld hiervan is de norm voor het loodgehalte in het bloed.

Een bijzonder soort norm is de maximaal toegelaten dagelijkse inname van een verontreiniging (ADI, *Acceptable Daily Intake*). Bij het vaststellen van deze norm is rekening gehouden met het feit dat verontreiniging via verschillende wegen in het lichaam terecht kan komen, bijvoorbeeld via het drinkwater en de voeding.

Normstelling is een politiek proces. Naast gezondheidskundige overwegingen speelt ook de technische en economische haalbaarheid een rol. Daarom maakt men gewoonlijk onderscheid tussen gezondheidskundige advieswaarden (*Guidelines*) en normen (*Standards*).

Deskundigen stellen, aan de hand van de wetenschappelijke kennis over de effecten van een bepaalde stof of milieufactor, de advieswaarden op. Zij geven aan welke effecten op de gezondheid van de mens bij bepaalde niveaus van blootstelling zijn te verwachten. Op basis daarvan stelt men vervolgens in een politiek besluitvormingsproces een norm op, waarbij ook met andere overwegingen rekening wordt gehouden.

Toxicologie en epidemiologie

Zoals gezegd, stellen deskundigen advieswaarden vast op basis van wetenschappelijke inzichten. Daarbij spelen de *toxicologie* en de *epidemiologie* een belangrijke rol.

De toxicologie is de wetenschap die de invloed van giftige stoffen op het lichaam bestudeert. Om ethische redenen is het maar zeer beperkt mogelijk mensen experimenteel aan giftige stoffen bloot te stellen om zo de werking van deze verbindingen te leren kennen. Daarom vindt toxicologisch onderzoek in hoofdzaak plaats bij proefdieren en in celkweeksystemen. Dit leidt tot een gedegen inzicht in het metabolisme, de kinetiek en de werking van de onderzochte stoffen en de

grootte van de doses die bij proefdieren duidelijk omschreven effecten veroorzaken.

De epidemiologie is de wetenschap die de relatie onderzoekt tussen enerzijds het aantal ziektegevallen in de bevolking en anderzijds factoren die ziekte beïnvloeden of veroorzaken. Zo bestudeert de epidemiologie de 'dier-soort' mens in het dagelijks leven en gaat zij na of er in de praktijk een verband tussen blootstelling aan bijvoorbeeld milieuverontreiniging en ziekte of sterfte aantoonbaar is.

Mensen en proefdieren

De toxicologie biedt ons de mogelijkheid systematisch en experimenteel inzicht te verkrijgen in de effecten van verontreinigingen op proefdieren. Omdat de mens zelf niet of nauwelijks kan worden onderzocht, leent de toxicologie zich niet voor het exact voorspellen van het verband tussen blootstelling en effect op de gezondheid van de mens. Mensen en proefdieren kunnen immers verschillend reageren. Daarnaast maakt men in laboratoriumexperimenten gebruik van genetisch vrijwel identieke proefdieren, die gewoonlijk aan slechts één stof tegelijk worden blootgesteld. Menselijke populaties zijn zeer heterogeen en er is meestal sprake van blootstelling aan verschillende stoffen tegelijkertijd.



Een ander probleem is, dat men in proefdierexperimenten meestal een beperkt aantal dieren bij een beperkt aantal niveaus van blootstelling onderzoekt. In het kankeronderzoek zou men het liefst willen weten bij welk niveau van blootstelling een zeer geringe verhoging plaatsvindt van het aantal dieren dat kanker ontwikkelt. Bij mensen accepteert men slechts een verhoging van het aantal kankergevallen van één op de tienduizend tot één op het miljoen als gevolg van levenslange blootstelling aan verontreinigingen. Omdat zo'n kleine verhoging van de frequentie niet in een proef-

dierexperiment is na te gaan (men zou voor één experiment miljoenen dieren nodig hebben), voert de toxicoloog de experimenten uit bij hoge niveaus van blootstelling, waarin bij veel proefdieren kanker ontstaat. Voor het schatten van risico's bij lage niveaus van blootstelling voor de mens moet er nu niet alleen van dier naar mens, maar ook van hoge naar lage blootstelling worden geëxtrapoleerd. Er zijn diverse extrapolatiemethoden. Afhankelijk van het gekozen model kunnen de uitkomsten echter zeer verschillen.

Onder andere om het gebruik van proefdieren terug te dringen maakt men tegenwoordig in het toxicologisch onderzoek in toenemende mate gebruik van celkweeksystemen. Hierin bestudeert men de werking van giftige stoffen in geïsoleerde cellen of organen. De resultaten van dit onderzoek laten zich niet eenvoudig vertalen in effecten op complete organismen. Een voordeel is wel dat dit type onderzoek ook met kweken van menselijke cellen uitvoerbaar is.

Epidemiologisch onderzoek

De epidemiologie biedt de mogelijkheid via directe observatie na te gaan welke effecten in menselijke populaties daadwerkelijk te wijten zijn aan milieuverontreiniging. De belangrij-



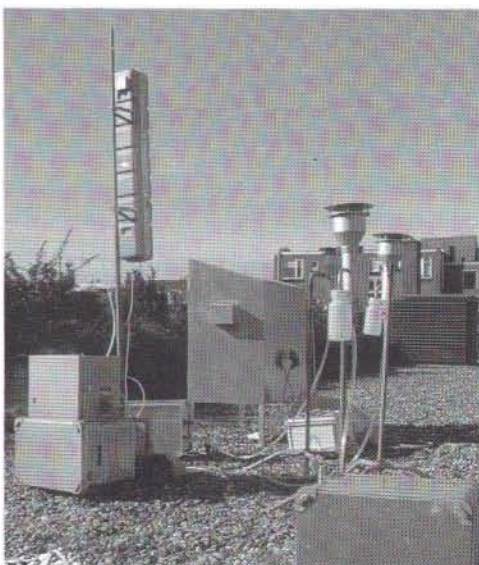
2



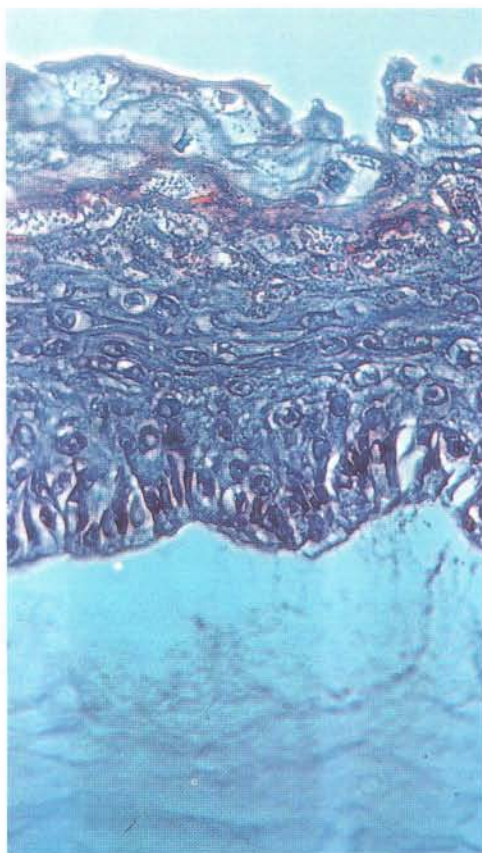
1. Behalve industriële bronnen veroorzaakt ook het wegverkeer een toename van stikstofoxiden, koolstofmono-oxyde en koolwaterstoffen in de buitenlucht.

2. Kinderen brengen regelmatig hun hand naar de mond, ook tijdens het buiten spelen. Door dit kenmerkende hand-mond-gedrag kunnen zij schadelijke verbindingen die in de bodem voorkomen binnenkrijgen.

3. Met behulp van geavanceerde apparatuur meet men tijdens het epidemiologisch onderzoek de concentraties van diverse verbindingen in de buitenlucht.



3



4

4. Alhoewel men toxicologisch onderzoek niet bij mensen kan verrichten, kan men wel het effect van verbindingen op menselijke huidcellen onderzoeken. Onderzoekers beschikken over diverse cultures van huidcellen zodat men in staat is noodzakelijke informatie te verkrijgen over de mogelijke schadelijke gevolgen van verbindingen uit ons milieu op de mens.

5. Een bronchiale wand is aangetast door kankercellen. Linksboven is nog gezond epitheel met normale cilien zichtbaar. De relatie tussen luchtverontreiniging en het voorkomen van longkanker bij stadsbewoners was niet direct aan te tonen omdat zij meer rookten dan plattelandsbewoners. ©Boehringer Alkmaar bv, fotografie Lennart Nilsson.



5

ste beperking van de epidemiologie is, dat de onderzoeker de blootstelling van mensen aan milieuverontreiniging maar in beperkte mate kan beïnvloeden. Daardoor is het veel moeilijker om van een aangetroffen statistisch verband tussen milieuverontreiniging en gezondheidseffect, aannemelijk te maken dat dit een oorzakelijk verband is. Toch kan soms met enige inventiviteit worden ingespeeld op 'natuurlijke' experimenten, zoals deze zich in de samenleving regelmatig voordoen. De verwijdering van lood uit benzine gaf bijvoorbeeld de mogelijkheid om de gevolgen van deze ingreep voor de volksgezondheid na te gaan.

Door de beperkte mogelijkheden om experimenteel onderzoek te doen, moet de epidemioloog steeds rekening houden met vertekening van onderzoeksresultaten. Specifieke 'milieuziekten' bestaan vrijwel niet, en men dient verdacht te zijn op andere ziekteoorzaken. Zo

heeft men ooit de hogere longkankersterfte in grote steden in verband gebracht met de sterkere luchtverontreiniging. Doordat er in steden in het verleden ook meer werd gerookt dan op het platteland, was deze conclusie niet houdbaar. Het roken was hier een *verstorende variabele* ('confounder') van het verband tussen luchtverontreiniging en longkanker.

Het is lang niet altijd mogelijk elke vertekening in een epidemiologisch onderzoek te vermijden. In een goed onderzoeksverslag staat dan ook altijd beschreven hoe de onderzoekers hebben getracht vertekening te voorkomen. Ook krijgt men in het algemeen pas echt vertrouwen in een verband tussen blootstelling en effect wanneer hetzelfde verband is gevonden in verschillende, onafhankelijk uitgevoerde onderzoeken. Bovendien moeten er, bijvoorbeeld vanuit het toxicologisch onderzoek, goede redenen zijn om een gevonden statistisch



6

6. Toxicologisch huidonderzoek verricht men onder andere op menselijke stukjes huid die op een naakte muis zijn getransplanteerd.

verband ook biologisch aannemelijk te maken.

Via experimenten die liggen in het grensgebied van de epidemiologie en de toxicologie, onderzoekt men bij menselijke vrijwilligers voorbijgaande effecten van kortstondige blootstelling aan verontreinigingen. Soms levert dit onderzoek waardevolle informatie voor het opstellen van advieswaarden. Het onderzoek kan echter geen bijdrage leveren wanneer het gaat om ernstige effecten (zoals kanker) of wanneer het effecten betreft die pas na langdurige blootstelling ontstaan.

Veiligheidsfactoren

Vanwege de onvermijdelijke lacunes in onze kennis gebruikt men bij het opstellen van advieswaarden *veiligheidsfactoren*. Dit houdt in dat men de advieswaarde door een bepaalde factor deelt zodat deze op een lager niveau ligt dan het niveau waarbij, in toxicologisch of epidemiologisch onderzoek, nog juist geen nadelige effecten zijn gevonden. Wanneer we alleen over gegevens uit dierproeven beschikken, gebruikt men vaak de veiligheidsfactor honderd. Het getal honderd is arbitrair, alhoewel het valt te beargumenteren als het produkt van een factor tien voor verschillen tussen soorten organismen en een factor tien voor verschillen tussen individuen binnen een soort. Wanneer goede epidemiologische gegevens beschikbaar zijn, kan men vaak veel kleinere veiligheidsfactoren hanteren, die zelfs minder dan twee kunnen bedragen.

Het feit dat in de praktijk gehanteerde veiligheidsfactoren hoger of lager kunnen uitvallen, illustreert dat men zich in aanwezigheid van goede epidemiologische gegevens kennelijk een stuk zekerder van zijn zaak voelt dan wanneer men alleen over toxicologische gegevens uit dierproeven beschikt. Enkele voorbeelden kunnen dit illustreren.

Blootstelling aan benzeen

Benzeen is een vluchtige, organische verbinding die bij de mens leukemie veroorzaakt. Dit blijkt uit epidemiologisch onderzoek onder mensen die in hun dagelijks werk regelmatig met benzeen in aanraking komen. Ook in dierproeven is gebleken dat blootstelling aan benzeen bij zowel ratten als muizen kwaadaardige celwoekeringen veroorzaakt. Daarom neemt



7



9



8

men aan dat de epidemiologische bevindingen niet worden vertekend door contact met andere stoffen die voorkomen naast benzeen. Bij de onderzochte groepen ging het veelal om blootstelling aan concentraties tot enkele honderden milligrammen benzeen per kubieke meter lucht waaraan de werknemer tijdens de werkdag een aantal jaren lang was blootgesteld. Dit komt, gemiddeld over het hele leven, neer op een blootstelling van enkele milligrammen per kubieke meter.

Verschillende onderzoekers hebben, op basis van de beschikbare epidemiologische gegevens, geschat hoe groot de kans is op het ontstaan van leukemie ten gevolge van blootstelling aan lage benzeenconcentraties van enkele microgrammen per kubieke meter zoals deze in de buiten-



7. Personeel van benzine-stations komt beroepsmatig met relatief grote hoeveelheden benzeen in aanraking. De tendens naar zelfbediening bij di-

8 en 9. Tijdens het stationair draaien van automotoren in de file komen schadelijke verbindingen in onze buitenlucht. Met speciale apparatuur meten technici de hoeveel-

10. Tijdens de verwerking van onder andere het huishoudelijke afval in specia-

verse grote benzinemerken heeft ertoe geleid dat een grotere bevolkingsgroep staat blootgesteld aan kleinere hoeveelheden van deze verbinding.

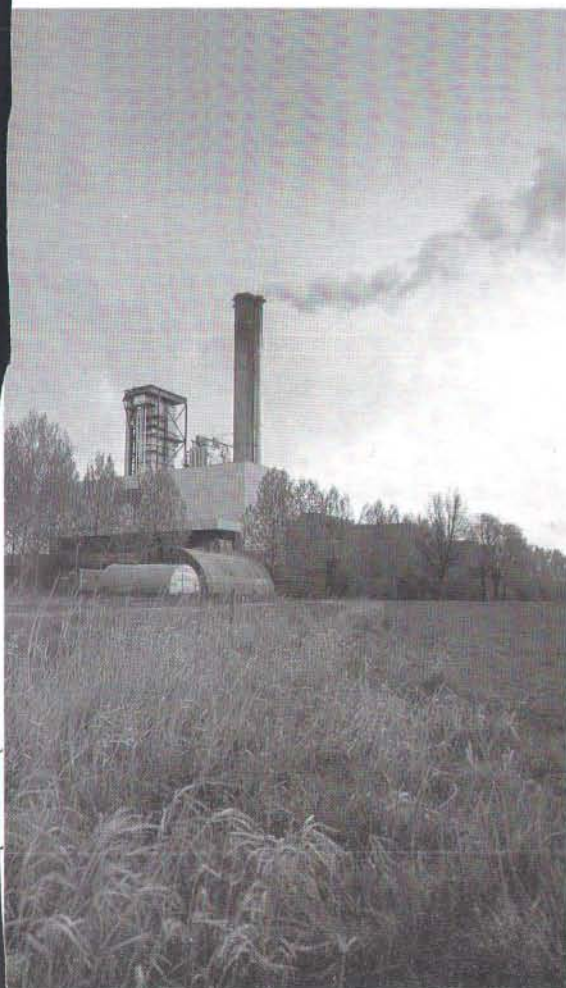
heid CO in het uitlaatgas. Door het optimaal afstellen van het brandstofmengsel en de ontsteking in de automotor hoopt men het verkeer minder verontreinigend te maken.

le verbrandingsinstallaties kan het giftige dioxine ontstaan.

lucht kunnen voorkomen. Daarbij gingen de meesten er vanuit dat er geen veilige dosis is waaronder de kans op leukemie gelijk is aan nul. De uitkomsten van dergelijke schattingen komen uit op vier tot acht extra leukemiegevallen per miljoen mensen die levenslang aan $1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ benzeen in de lucht zijn blootgesteld. Voor blootstelling aan afzonderlijke chemicaliën in het milieu acht men vaak niet meer dan één extra kankergeval per miljoen mensen bij levenslange blootstelling aanvaardbaar. Zo redenerend komt men dan uit op een advieswaarde van 0,12 tot $0,25 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ benzeen in de lucht. Het uit benzine en uitlaatgassen vrijkomende benzeen zorgt in steden meestal voor een (ruime) overschrijding van deze waarden in de lucht.

Een commissie van de Nederlandse Gezondheidsraad heeft een afwijkende analyse uitgevoerd. Zij was van mening dat in een drietal studies onder beroepsmatig aan benzeen blootgestelde werknemers geen significante toename van het aantal leukemiegevallen was aangetoond, vermoedelijk omdat ze minder aan benzeen waren blootgesteld dan men in eerste instantie had aangenomen. Gemiddeld over het gehele leven schat men de blootstelling van de in deze studies onderzochte werknemers op circa $0,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Uit berekeningen op basis van deze gegevens concludeerde de commissie dat, zelfs onder ongunstige veronderstellingen, een levenslange blootstelling aan $1,4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ tot niet meer dan één extra leukemiegeval per miljoen mensen zou leiden. Een meer realistische schatting zou, alweer volgens de commissie, moeten uitkomen op een advieswaarde van $12 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, dus vijftig tot honderd maal hoger dan de eerder genoemde waarden.

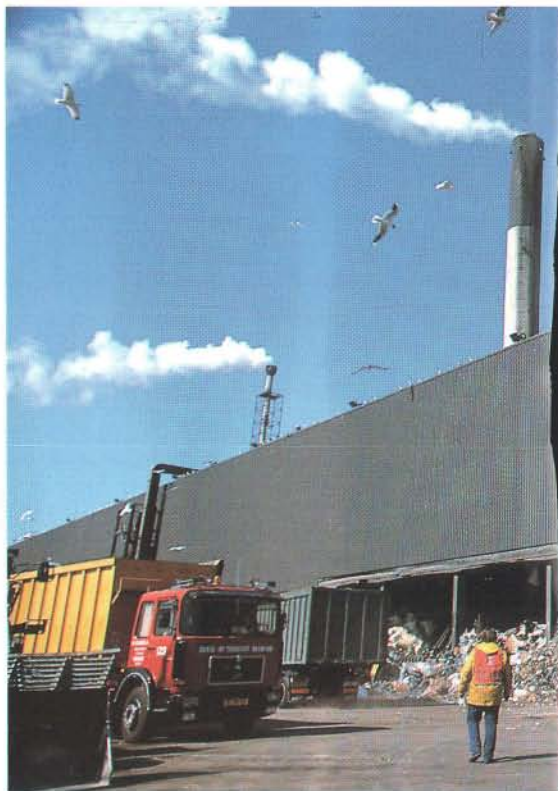
Dit voorbeeld illustreert dat, afhankelijk van het al of niet meewegen van zogenaamde *negatieve epidemiologische studies*, geheel verschillende uitkomsten kunnen ontstaan. Een negatieve studie is in dit verband een studie waaruit geen significant verband tussen blootstelling en effect blijkt. Dit voorbeeld illustreert eveneens hoe de extrapolatie plaatsvindt van hoge gemiddelde blootstellingen van enkele milligrammen per kubieke meter naar waarden die ongeveer honderd tot duizend maal lager liggen. Bovendien moest men extrapoleren van beroepsmatig blootgestelden naar de algemene bevolking, die mogelijk een andere gevoeligheid voor een verbinding vertoont.



Dioxine in ons milieu

Met dioxine bedoelt men gewoonlijk 2,3,7,8-tetrachloordibenzodioxine (2,3,7,8-TCDD), één van een reeks van dibenzodioxinen die onder andere in verbrandingsgassen van afvalovens voorkomen. Het komt diffuus verspreid in het milieu voor, zodat de doorsnee mens vooral via het dagelijks voedsel aan zeer kleine hoeveelheden dioxine wordt blootgesteld.

Dioxine kwam in de belangstelling via enkele geruchtmakende ongevallen, zoals de ontploffing die zich in 1976 in een chemische fabriek bij Seveso in Italië voordeed. Daarbij verspreidde zich een relatief grote hoeveelheid dioxine over de omgeving van de fabriek. Dioxine is een extreem giftige verbinding, die in dierexperimenten al leverkanker veroorzaakt bij doses vanaf één nanogram per kilogram lichaamsgewicht per dag. Er is nog onvoldoende epidemiologisch onderzoek gedaan om vast te stellen of dioxine ook bij de mens kanker veroorzaakt. De mensen die door het ongeluk in 1976 in Seveso met dioxine in aanraking kwamen, zijn intussen tien jaar lang gevolgd. Tot nog toe bleek in deze groep geen grotere kankersterfte op te treden dan in een controle-groep die niet aan dioxine was blootgesteld.



12

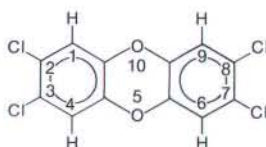
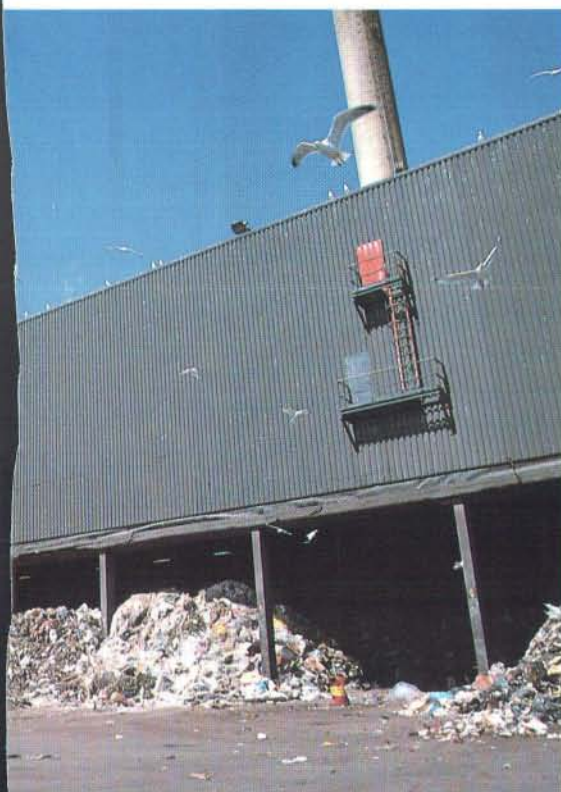


11

11. Ozon in de lagere luchtlagen ontstaat ook tijdens onweersbuien. De natuurlijke concentratie varieert van 10 tot 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

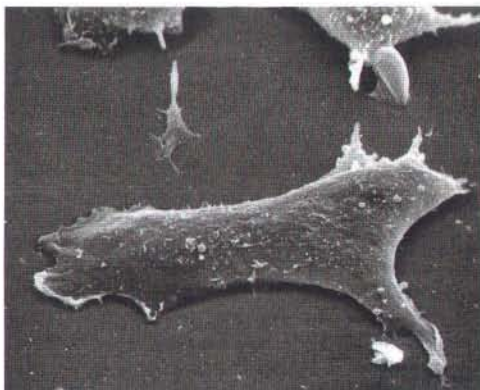
12. Per jaar wordt in Nederland een belangrijk deel van het huisafval verbrand.

14. Een hepatoomcel (leverkanker) van een rat. Toxicologische gegevens uit dierproeven kunnen niet zonder meer worden vertaald naar effecten van verbindingen op menselijke cellen.



13

13. Onderzoekers weten nog steeds niet in welke mate bij mensen lange-termijn-effecten zijn te verwachten na blootstelling aan dioxine, oftewel 2,3,7,8-TCDD.



14

Voor het opstellen van advieswaarden baseert men zich vooralsnog op de uitkomsten van toxicologisch onderzoek. Sommige onderzoekers gaan er daarbij vanuit dat dioxine weliswaar kanker kan veroorzaken, maar dat het geen directe schade toebrengt aan het erfelijk materiaal. Zij zien deze stof blijkbaar niet als een stof met een kanker-initiërende werking, maar als een stof met een kanker-promoverende werking. Voor dergelijke stoffen neemt men aan dat er een 'veilige' dosis is: bij kleinere hoeveelheden veroorzaakt zo'n stof geen kanker meer. Door gebruik te maken van een veiligheidsfactor van 200 tot 250 komen diverse toxicologen dan tot advieswaarden die vier à vijf picogram per kilogram lichaamsgewicht per dag bedragen (een picogram is 10^{-12} gram).

Extrapolatie vanuit dierproeven naar een aanvaardbaar geachte toename van het aantal kankergevallen met één per miljoen mensen, leidde bij andere onderzoekers tot een veel la-

gere advieswaarde van slechts 0,006 picogram per kilogram lichaamsgewicht per dag. Zij hielden in hun kansberekening geen rekening met het verschil tussen stoffen met een kanker-promoverende werking en carcinogenen met een initiatorwerking.

Uit dit voorbeeld blijkt hoe, bij gebrek aan goede epidemiologische gegevens, advieswaarden worden opgesteld die in hoofdzaak op uitkomsten van dierproeven zijn gebaseerd. Daarbij worden grote 'veiligheidsfactoren' in acht genomen. Overschrijding van dergelijke advieswaarden met bijvoorbeeld een factor twee laat nog op geen enkele manier een juiste schatting van het werkelijk risico van blootstelling voor de mens toe; de onzekerheid in onze kennis is eenvoudig te groot. Bovendien illustreert dit voorbeeld hoe uiteenlopend de uitkomsten kunnen zijn, wanneer men een verschillende filosofie hanteert over de behandeling van diverse typen kankerverwekkende stoffen in de risicoschatting.



15



16

Ozon in de lagere luchtlagen

Ozon is een zeer reactief gas dat in de lucht ontstaat door de inwerking van zonlicht op stikstofoxyden en koolwaterstoffen. Het is de, voor de gezondheidsaspecten, belangrijkste component van de fotochemische luchtverontreiniging ('smog') die soms op warme zomerdagen kan optreden. Blootstelling aan ozon leidt na korte tijd tot meetbare en merkbare veranderingen in de luchtwegen. Deze veranderingen, die van voorbijgaande aard zijn, heeft men uitvoerig onderzocht bij menselijke vrijwilligers die gedurende een of meer uren aan ozon waren blootgesteld. Ook is er epidemiologisch onderzoek gedaan, vooral bij kinderen die in zomerkampen een groot deel van de dag in de buitenlucht speelden. Tenslotte heeft men ook de door ozon veroorzaakte veranderingen in de luchtwegen van proefdieren in toxicologisch onderzoek bestudeerd.

Deze onderzoeken toonden aan dat lage concentraties ozon in de lucht al ontstekingsverschijnselen, een tijdelijke afname van de longfunctie en pijn op de borst bij het inademen veroorzaken. Deze effecten treden met name op wanneer door lichamelijke inspanning de ingeademde hoeveelheid ozon toeneemt. Experimenten met mensen en dieren lieten zien dat deze effecten al optreden bij



17

15. Tijdens de jaren tachtig introduceerde de auto-industrie de uitlaatkatalysator. Auto's die hiermee zijn uitgerust gebruiken

loodvrije benzine. Niet iedereen heeft vertrouwen in de pogingen om luchtverontreiniging door autoverkeer terug te dringen.

16 en 17. Onder bepaalde weersomstandigheden vormt zich een fotochemische smog boven industriële en dichtbevolkte gebieden (16). Door middel

van longfunctiemetingen proberen epidemiologen de gevolgen van luchtverontreiniging op de werking van longen te bepalen (17).



blootstelling gedurende een aantal uren aan concentraties vanaf $160 \mu\text{g.m}^{-3}$. Epidemiologisch onderzoek heeft dit bevestigd. Soms leek er zelfs sprake van een wat sterker effect, maar dit kan mogelijk het gevolg zijn van de aanwezigheid van zure stofdeeltjes in de lucht.

Ozon komt van nature in de lucht voor. Het is dan ook onmogelijk er voor te zorgen dat de ozonconcentratie in de buitenlucht altijd onder de honderd $\mu\text{g.m}^{-3}$ blijft. Vanwege dit praktische probleem, en omdat de geschetste effecten van korte duur zijn, heeft bijvoorbeeld de Wereld Gezondheidsorganisatie bij het opstellen van advieswaarden een veiligheidsfactor van slechts anderhalf gehanteerd. Een ander gegeven dat bij deze vaststelling meespeelde, is dat veel kennis over de schadelijke effecten van ozon bij de mens zelf is verzameld, zodat men niet uitsluitend op de resultaten van dierproeven hoeft af te gaan.

Dit voorbeeld illustreert hoe een advieswaarde die vooral op basis van epidemiologisch onderzoek en experimenten bij de mens is opgesteld, veel dichterbij het 'effect-niveau' kan liggen dan een advieswaarde die voornamelijk op dierproeven is gebaseerd. Ook ligt deze waarde dichterbij het 'effect-niveau' dan bijvoorbeeld de besproken advieswaarden voor benzeen, die zijn gebaseerd op waarnemingen verricht bij de werkende bevolking.

De lamme en de blinde

Het zal duidelijk zijn dat voor het opstellen van verantwoorde advieswaarden en normen de toxicologie en de epidemiologie in zekere zin tot elkaar zijn veroordeeld. Toxicologische kennis leidt zonder begeleidend epidemiologisch onderzoek tot risicoschattingen voor de mens die, door de verschillen tussen mens en (proef)dier, zeer onjuist kunnen zijn. Epidemiologische kennis leidt zonder begeleidend toxicologisch onderzoek gemakkelijk tot statistische verbanden waarvan de biologische aannemelijkheid niet nader is onderbouwd. Met enige fantasie zou men dan ook de toxicologie lam kunnen noemen, omdat zij niet in staat is om vanuit de toxicologische gegevens de kloof tussen proefdier en mens zodanig te overbruggen, dat men het risico voor de mens nauwkeurig kan schatten.

Met evenveel recht kan men de epidemiologie blind noemen, omdat zij niet in staat is via experimenten voldoende door te dringen tot in het inwendige van de enorm ingewikkelde 'zwarte doos' die haar onderwerp van onderzoek is. Om tot een zo goed mogelijke schatting van het risico van verontreinigingen voor de mens te komen, zullen de lamme en de blinde elkaar moeten helpen.

Literatuur

- Stumpel ARJ, in: Medische Milieukunde, red. van der Doel. Utrecht: Bohn, Scheltema en Holkema, 1989.
 Vandenbroucke JP, Hofman A. Grondslagen der Epidemiologie. Utrecht: Bunge, 1988.
 World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe, European Series No. 23. Copenhagen: WHO Regional Publications, 1987.

Bronvermelding illustraties

- Michiel Wijnbergh, Driebergen: pag. 500-501, 1, 9, 12, 15, 16.
 Medisch Biologisch Laboratorium, TNO: 4, 6.
 ©Boehringer Ingelheim BV, Alkmaar. Foto Lennart Nilsson: 5.
 James Joseph, Los Angeles: 11.
 Antoni van Leeuwenhoekhuis, Amsterdam. D.A.M. Mesland, afdeling Elektronenmicroscopie: 14.
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

EEN VENSTER OP DE WETENSCHAP

Simon
Rozendaal

**De unieke relatie tussen het
Instituut voor Immunologie in Bazel en het
farmaceutisch bedrijf Roche**

Voor de industrie is een goede relatie met de academische wereld van groot belang. Dat is niet iets van vandaag of gisteren: in het verleden leek het belang van fundamentele wetenschap vaak nog groter voor de industrie. Immers, toen deed het bedrijfsleven zelf nauwelijks aan wetenschap. Voorzover er laboratoria waren, hielden die zich met de vervolmaking dan wel de ontwikkeling van producten bezig.

Tegenwoordig is dat anders. In laboratoria van veel bedrijven wordt wetenschap van hoog niveau bedreven. Het IBM-laboratorium in Rüschlikon (bij Zürich, in Zwitserland) telt bijvoorbeeld diverse Nobelprijswinnaars. Het Natlab van Philips is een Nederlands voorbeeld van hoe bij het bedrijfsleven wetenschap op hoog niveau wordt beoefend. In sommige sectoren zoals de informatica, de farmacie en de biotechnologie besteden bedrijven zelfs tussen de 5 en 15 procent van hun omzet aan wetenschap en technologie.

Toch blijft er bij het bedrijfsleven grote behoefte aan een nauwe relatie met de universitaire wereld. Al heeft men zeer begaafde wetenschapsmensen in huis, de on-

gebondenheid van de veelal jonge academische onderzoeker blijft voor een bedrijf altijd een bron van nieuwe gedachten. Een bedrijf als Philips, dat met het Natlab maar ook met andere bedrijfslaboratoria verspreid over de wereld toch meer dan genoeg micro-elektronische expertise lijkt te hebben, werkt daarom ook samen met de universiteit van Leuven (een van de beste micro-elektronische faculteiten ter wereld). Andere bedrijven met eigen laboratoria, zoals het Amerikaanse chemieconcern Monsanto, hebben eveneens een bewust beleid om her en der universitaire onderzoeksgroepen te ondersteunen.

Alleen maar opperhoofden

De aanpak van het Zwitserse farmaceutische concern Hoffmann-La Roche is echter betrekkelijk uniek. In het eind van de jaren zestig immers heeft Roche twee onafhankelijke wetenschappelijke instituten in het leven geroepen (een voor moleculaire biologie in het Amerikaanse Nutley, New Jersey, en een voor immunologie in Bazel, Zwitserland), die het jaarlijks met indrukwekkende bedragen subsidieert. Prof dr Fritz Mel-



chers, directeur van het Instituut voor Immunologie in Bazel: "In een bepaald opzicht kan men zeggen dat dit instituut een gevolg is van de ontdekking van valium en librium. Het bedrijf verdiende daar in de jaren zestig goed aan, maar er was veel maatschappelijke kritiek op de hoge prijzen. Men voelde toen

de verplichting om iets speciaals te doen met de enorme verdiensten van valium en librium. Dat werd dit instituut."

Melchers: "Voor moderne grote bedrijven is zo'n samenwerking als tussen Roche en ons instituut ideaal. Grote be-

laboratorium is het moeilijk om dat allemaal op de voet te volgen; daarvoor gaat het te snel en te grillig. Daarin is de academische wereld veel beter. Bij ons komen voortdurend jonge onderzoekers binnen, die een paar jaar blijven en dan weer gaan. De gemiddel-

"Een industrieel laboratorium is log en maar moeilijk in beweging te krijgen. Bij een academisch instituut is dat heel anders."



Het Baselse Immunologisch Instituut, een wetenschappelijk zelfstandige denktank voor Roche (foto's: instituut)

drijven zijn moeilijk wendbaar. In het industrieel laboratorium zitten alle pijpleidingen vol, het geheel is stabiel maar moeilijk in beweging te krijgen. Een veld als de moleculaire biologie daarentegen is voortdurend in beweging. Er komt veel uit maar er lopen ook veel wegen dood. Voor een groot industrieel la-

de leeftijd is ongeveer dertig jaar en dat houdt het instituut flexibel. Dat is door een groot industrieel laboratorium nooit op te brengen."

Bij het Instituut voor Immunologie werken ongeveer vijftig onderzoekers. Per jaar verdwijnen er ongeveer tien tot vijftien die door andere researchers worden vervangen.

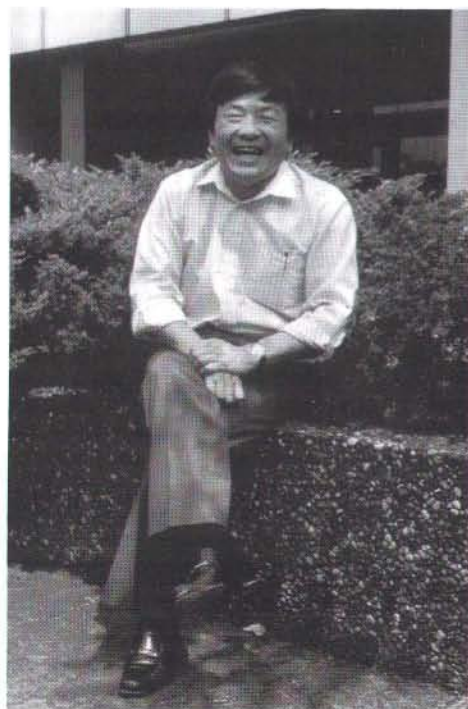
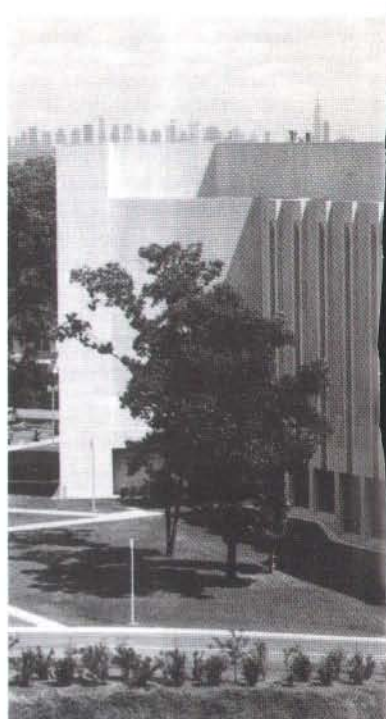
Een heel speciaal aspect van de research is dat Roche er nauwelijks invloed op heeft. Het bedrijf geeft geld en heeft het recht op gebruik als er nuttige producten uit het onderzoekswerk komen. Wat voor onderzoek er wordt verricht ligt echter buiten bereik van de onderneming. Er is ook geen enkele beperking aan het recht om de wetenschappelijke resultaten te publiceren. Extra bijzonder is dat ook de instituutdirectie weinig invloed heeft op het onderzoek. Getalenteerde wetenschapsmensen op het terrein waar het instituut zich op specialiseert, worden gevraagd er te komen werken en dan mogen ze vervolgens doen waarin ze zin hebben. Ze hoeven ook niet voor elke uitgave bij de directie aan te kloppen; ieder krijgt een deel van het budget. Melchers: "In veel wetenschappelijke instituten heb je opperhoofden en gewone indianen, maar wij hebben besloten alleen maar opperhoofden aan te nemen. Al die opperhoofden krijgen dan ook een gelijk deel van het budget. Ik vertel ze ook niet wat ze moeten doen. Wij streven doelbewust enige chaos in de organisatie na."

Briljant flessegooler

Het totale budget is niet mis. Melchers: "Ik denk dat er in uw land niet veel wetenschappelijke instituten zijn die een researchbudget van 25 miljoen Zwitserse franken hebben. Dat is heel veel. Daarmee zitten we op het niveau van de topinstituten in de wereld. Die 25 miljoen is voor Roche echter niets: het bedrijf heeft een budget van tien miljard Zwitserse franken, wij krijgen daarvan een kwart procent." Groot verschil tussen een conventionele academisch onder-

zoeker en de wetenschaps-
mensen bij het Instituut voor
Immunologie is dat men nooit
een subsidie-aanvraag hoeft
te schrijven. Melchers:
"Iedereen mag doen wat hij
wil en hoeft daar geen *grants*
voor aan te vragen. Iedereen
die weet hoeveel formuleren
een onderzoeker moet uit-
schrijven om een overheids-
subsidie te krijgen, zal zich
realiseren hoe belangrijk dit
is." De onderzoekers zijn
vanzelfsprekend tevreden.
Klaus Karjaleinen, een Fin die
enkele jaren in de VS heeft ge-
werkt: "Dit is het paradijs
voor wetenschappelijk onder-
zoekers." In zo'n bewust
chaotisch opgezette organisa-
tie is ook veel mogelijk dat el-
ders niet zou kunnen. Zo be-
gon André Traunecker, een
Fransman, op het instituut
met het ledigen van de prul-
lenbakken. Vervolgens leerde
Traunecker de elektronenmi-

croscoop bedienen. Daarna
ging hij genen kloneren en an-
dere molekulair-biologische
technieken beheersen. Mo-
menteel is Traunecker een
veel geciteerd onderzoeker –
zo hoorde hij bij de onder-
zoekers die als eerste aantoon-
den dat het AIDS-virus de bloed-
cellen entert via een bepaald
molekuul (het CD4-eiwit).
Bij het instituut hebben drie
onderzoekers gewerkt die la-
ter een Nobelprijs kregen:
Niels Jerne, Georg Köhler en
Susumu Tonegawa. De meest
opmerkelijke, in diverse op-
zichten, was voor Melchers
Tonegawa. "Hij is hier tien
jaar geweest. In eerste instan-
tie kwam hij op een twee-
jaarscontract. Hij werkte tot
drie uur 's nachts op het labo-
ratorium, wilde dingen onder-
zoeken die toen absoluut niet
onderzocht konden worden,
kocht voortdurend de meest
geavanceerde apparaten



In Nutly, New
Jersey, bevindt zich
het Roche-instituut
voor moleculaire
biologie

Nobelprijswinnaar
Tonegawa, briljant
en ongelofelijk
humeurig

waardoor wij ogenblikkelijk
bij waren en was de slechtst-
gehumeerde onderzoeker die
ik ooit heb meegemaakt: hij
gooide soms flessen en kolven
naar zijn analisten. Maar hij
was briljant."

Bedreigend

De enige officiële invloed die
Roche op het instituut heeft,
loopt via de Raad van Com-
missarissen die Melchers con-
troleert. Daarin zitten mensen
van Roche, bemaande onder-
zoekers van buiten (onderwie
Manfred Eigen en Sydney
Brenner) plus vertegenwoor-
digers van de familie Hoff-
mann, die veel aandelen bezit
in Roche. Melchers: "Het
enige dat ik regelmatig hoor is
de zorg of we wetenschappe-
lijk wel goed genoeg blijven.
Wat we onderzoeken, daar
heb ik nooit enige opmerking
over gehoord. We doen niets



"Dit is het paradijs voor wetenschappelijke onderzoekers."

commercieels maar als we tegen iets aanlopen dat nuttig voor het bedrijf zou kunnen zijn, dan nemen we natuurlijk wel contact op. Roche heeft het instituut gesticht om in contact te blijven met de moderne wetenschap. Waarschijnlijk hebben ze daarbij in hun achterhoofd wel de gedachte gehad dat het ooit wel eens iets zou kunnen opleveren op het gebied van allergie of auto-immuunziekten – misschien zelfs een soort valium voor het afweerstelsel – maar dat hebben ze altijd goed verborgen gehouden." Het werkt eerder andersom. Er was zeker in het verleden bij het instituut in Bazel vaak irritatie over de soms trage reacties van Roche op com-

mercieel interessante ontwikkelingen bij het instituut. Zo reageerde Roche nauwelijks op de deels bij het instituut tot stand gekomen techniek van de monoklonale antilichamen (die nu in elk biotechnologisch laboratorium wordt toegepast en waarvoor Köhler en Milstein de Nobelprijs kregen). En André Traunecker en Klaus Karjaleinen hebben de afgelopen jaren regelmatig hun tanden stukgebeten op pogingen researchmedewerkers van Roche te overtuigen van het belang van de celreceptor CD4 voor de ontwikkeling van eventuele geneesmiddelen tegen AIDS. Karjaleinen: "Zo'n groot bedrijf is zo onvoorstelbaar log." Melchers beschouwt het dan ook

mede als zijn taak om Roche op de nieuwste wetenschappelijke ontwikkelingen te wijzen. "Ik probeer het bedrijf te inspireren. Dat gaat niet altijd even makkelijk overigens. Zeker in het begin vond Roche de mensen van het instituut maar exotisch en men trok zich weinig van ons aan. Je merkte ook dat vooral de lagere research-regio's onze nieuwe ideeën vaak erg bedreigend vonden. Het is echter een kwestie van gewenning: de laatste jaren merk je echter dat Roche zich biotechnologisch oriënteert. Van een bedrijf dat valium en librium produceerde, is het bedrijf mede dankzij de instituten in Bazel en Nutley meer de biotechnologische kant opgegaan."

Dat is natuurlijk voor een bedrijf ook het grote voordeel van het subsidiëren van vrij en ongericht fundamenteel onderzoek. Door onderlinge contacten komt men veel aan de weet over de nieuwste ontwikkelingen. 'Een venster op de wetenschap', zo worden de instituten in Bazel en Nutley door Roche wel genoemd. Melchers voorspelt dat in de toekomst steeds meer bedrijven op een vergelijkbare wijze uitzicht op de nieuwste ontwikkelingen zullen blijven houden. "Zo'n venster is ideaal voor een bedrijf. Men hoeft niet middenin de turbulente ontwikkelingen te staan, maar kan ze rustig gadeslaan en zien wat de moeite waard is.

EEN EXPERIMENT MET GENTHERAPIE

John Zuidgeest

In de kern van lichaamscellen ligt het DNA, een lang molekuul waarin alle erfelijke eigenschappen als genen liggen opgesloten; ze bepalen wat we zijn en hoe we eruit zien. Als er met een van die genen iets mis is, gaat er van alles mis in de cellen en dat leidt tot ziekteverschijnselen. Deze ziekten worden erfelijke ziekten genoemd, omdat ze van een van beide ouders geërfd zijn. Genezen van erfelijke afwijkingen is in bijna alle gevallen onmogelijk. De enige manier zou zijn het defecte door een goed gen vervangen.

Tot voor kort behoorde gentherapie tot het rijk van de science fiction, maar nu niet meer. In de Verenigde Staten willen twee onderzoekers van de National Institutes of Health een experiment gaan doen met gentherapie. W. French Anderson van het National Heart, Lung and Blood Institute en R. Michael Blaise van het National Cancer Institute hebben hiervoor toestemming gevraagd.

Het wordt overigens niet de eerste keer dat er iets veranderd is aan menselijk genetisch materiaal. Eerder al zijn bij tien patiënten speciale bloedcellen uit het afweersysteem voorzien van een gen, dat diende als markeergen, om te zien waar die cellen naar toe gingen, of ze inderdaad het beoogde doel bereikten. Maar in dit geval gaat het echt om therapie, het inbrengen van een ontbrekend gen.

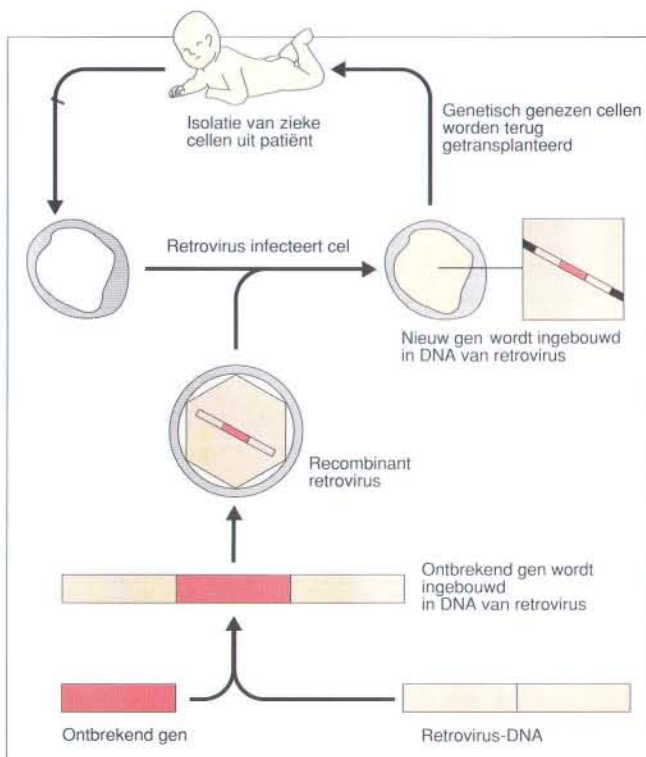
Dat is dan voor het eerst in de geschiedenis.

Het betreft een vorm van SCID, Severe Combined Immune Deficiency, een erfelijke ziekte waarbij een belangrijk onderdeel van het afweersysteem, de T-cel, geheel of gedeeltelijk ontbreekt. Over wat er precies gebeurt is de discussie nog in volle gang; niet duidelijk is of de T-cellen niet gemaakt worden, of dat ze vernietigd worden. Maar over de oorzaak is men het wel eens: het gen dat moet zorgen voor

de produktie van het enzym adenosine-deaminase (ADA) ontbreekt. Het gevolg is dat het afweersysteem het af laat weten, net als bij AIDS, alleen is AIDS acquired, verkregen, terwijl SCID erfelijk is. Kinderen met SCID vallen vaak al een week na hun geboorte ten prooi aan levensbedreigende infecties.

Bij de wortel

Gelukkig is deze ziekte uiterst zeldzaam, in de Verenigde





Dinko Valerio
onderzoekt de
mogelijkheden van
gentherapie
(foto's: TNO)

Staten bedraagt het aantal gevallen nog geen twintig per jaar. Toch is voor deze ziekte gekozen, omdat ze gezien wordt als een ideaal model voor het ontwikkelen van gentherapie. Niet alleen door de genoemde Amerikaanse onderzoekers, maar ook door andere groepen die aan gentherapie werken, zoals het Instituut voor Toegepaste Radiobiologie en Immunologie van TNO in Rijswijk. Een van de onderzoekers daar is Dinko Valerio. Hij denkt dat via gentherapie snel succes geboekt kan worden bij het behandelen van SCID en dat dit zal helpen de eerste stappen te zetten op weg naar het behandelen van andere, vaker voorkomende erfelijke ziekten. Ideaal zou zijn om het probleem bij de wortel aan de pakken: de stamcellen. Dat zijn beenmergcellen die levenslang andere cellen maken die in de bloedbaan rondcir-

kelen. "We denken vrij zeker te weten dat, als we erin slaan een beperkt aantal stamcellen te genezen door een correct gen aan te brengen, deze cellen een natuurlijk voordeel hebben om verder uit te groeien in de patiënt en op die manier een gezond immuunsysteem te maken. Als dat zou lukken zijn we een stapje dichterbij het modificeren van beenmergstamcellen om hele groepen andere afwijkingen in het bloed aan te pakken, zoals bijvoorbeeld sikkelcelanemie. Het probleem bij die andere ziekten is echter dat de regulatie van het nieuw geïntroduceerde gen nauwkeurig moet zijn. Omdat we daartoe op het ogenblik nog niet in staat zijn denken we dat het simpeler is te beginnen met een ziekte als SCID, waar die regulatie niet zo'n belangrijke rol speelt." Er wordt veel onderzoek gedaan naar mogelijkheden om

de stamcellen te modificeren, maar in het Amerikaanse experiment met SCID zullen niet de stamcellen, maar de T-cellen in het bloed aangepakt worden. Door een enzymbehandeling ontstaan er weer wat T-cellen, die dan vervolgens na een bloedafname bewerkt kunnen worden. De reden dat men dit doet is niet alleen dat het aldus vrij eenvoudig is om aan T-cellen te komen, maar meer nog omdat het een weinig belastende ingreep is. Ook om ze weer aan de patiëntjes terug te geven na bewerking is simpel. Dat kan niet gezegd worden van beenmergtransplantatie, waarbij het vaak nodig is om ruimte in het beenmerg te scheppen door bestraling of zware chemicaliën. Het gaat om patiëntjes die vaak maar een of twee jaar oud zijn, dus voordat men aan zo'n zware behandeling begint moet men eerst volkomen zeker zijn. Met genetisch gemodificeerde T-cellen kunnen de patiëntjes in ieder geval gedeeltelijk geholpen worden. Ook wordt op die manier de nodige ervaring opgedaan om de stap naar de stamcellen te kunnen doen.

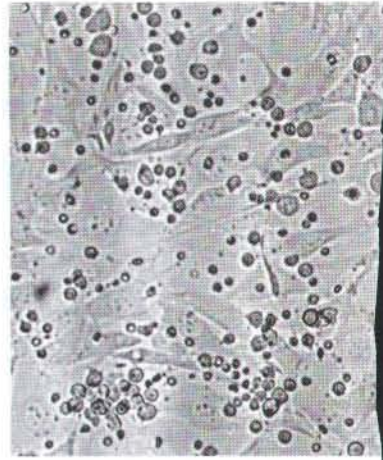
Taxi

Het gen dat voor het enzym ADA codeert is een jaar of vijf geleden door Valerio gelokaliseerd en geïsoleerd. Via biotechnologie is het gelukt dit gen door de bacterie *E. coli* te laten maken. Het is nu in voldoende hoeveelheden beschikbaar om het in cellen in te bouwen. Dinko Valerio: "Het wordt ingebouwd in een vector, een stuk DNA met elementen om dat gen tot werking aan te zetten. Om de vector in de cel te krijgen wordt gebruik gemaakt van genetisch veranderde virussen. Ze zijn zo veranderd dat ze

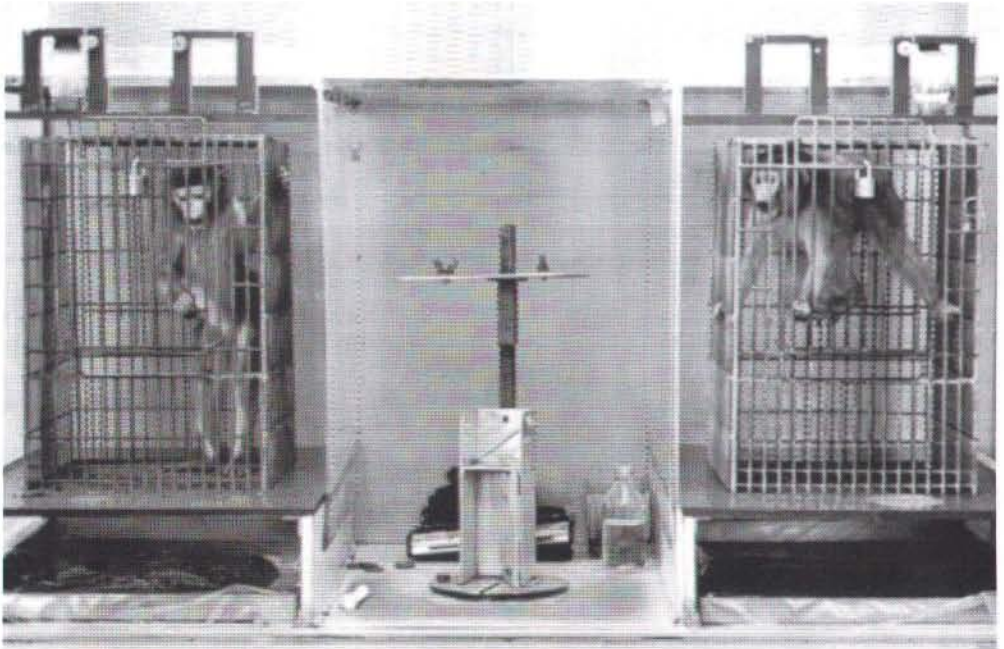
slechts de vector bevatten met het gen van keuze erin, in dit geval het ADA-gen. Die virus-sen hebben de eigenschap dat ze hun DNA inbrengen in het DNA van de gastheer cel. Wat wij nu doen is gebruik maken van die machinerie om het ADA-gen in het DNA van de patiënt te krijgen. Daarna kan het virus niets meer doen omdat we de elementen die daarvoor nodig zijn weggehaald hebben. We bouwen de virus-sen zodanig om dat ze alleen nog maar als een taxi fungeren om het ADA-gen in de cellen van de patiënt te krijgen." Het is niet mogelijk met behulp van de omgebouwde virus-sen het gen precies op te plek te krijgen waar het thuis hoort in de DNA-keten. Het komt op een willekeurige plaats terecht. Maar de virus-sen zijn wel in staat het stukje DNA zodanig aan te brengen dat het geordend aanwezig is en op de juiste manier tot expressie weet te komen.

Aap

Het lukte om op deze wijze T-cellen van het juiste gen te voorzien. Samen met Reinder Bolhuis en zijn medewerkers van de Daniël den Hoedkliniek lukte het eveneens om op die manier gewijzigde T-cellen in het laboratorium op te kweken tot grotere aantallen. De vraag is of dit voldoende is. Het aantal gekweekte cellen zal altijd een fractie blijven van de totale hoeveelheid T-cellen die in normale omstandigheden in het bloed aanwezig is. Dinko Valerio: "We verwachten dat de T-cellen die we teruggeven aan het patiëntje functioneel zullen zijn. Maar er zijn inderdaad verschrikkelijk veel verschillende T-cellen nodig om een normaal functionerend afweersysteem te hebben. We weten eigenlijk niet precies hoe dat bij deze patiëntjes zal verlopen. Wat we wel weten is dat de T-cellen



die we terugplaatsen ook een functie kunnen hebben in het gezonder maken van het bloedserum van de patiëntjes, zodat ook andere T-cellen daar profijt van zullen hebben, zonder dat ze zelf het gen hebben. Maar het blijft een beperkte therapie, vandaar dat veel werk gestoken wordt





In deze celcultuur produceren de lang-gerekte fibroblasten omgebouwde retro-virussen, die de ronde beenmergcellen infecteren en van het ontbrekende gen voorzien

Twee aapjes verblijven, na verwijdering van hun beenmerg, in een steriele kast in afwachting van de 'gentransplantatie'

in pogingen om beenmerg-stamcellen van het gen te voorzien, zodat later daartoe overgegaan kan worden als de therapie met de T-cellen goed verloopt."

Deze betere aanpak (werken met stamcellen) wordt nog niet op mensen toegepast, maar wel op proefdieren. Onlangs is Valerio er met zijn team in geslaagd om met behulp van het virus beenmerg-stamcellen van muizen zodanig te modificeren dat de bloedcellen, die daar dan na een beenmergtransplantatie uitkwamen, dat menselijke gen bevatten en tot expressie brachten. Het formele bewijs werd geleverd door beenmerg van die groep muizen over te brengen in een tweede groep en ook nog eens in een derde groep muizen waarin opnieuw bloedcellen terug te vinden waren die het menselijke gen bezaten en dit tot expressie brachten. Het succes van deze proef was reden om over te gaan op een zogenoemd preklinisch model waarin alle handelingen en risico's die aan zo'n therapie kleven worden onderzocht. Dat gebeurde in rhesusapen. Beenmerg van een aap werd via het virus voorzien van het menselijk

gen. Vervolgens werd het beenmerg teruggegeven aan dezelfde aap, precies zoals dat in de kliniek zou gebeuren. Het menselijk gen werd teruggevonden in de bloedcellen en het kwam daar ook tot expressie.

Gentherapie biedt fascinerende mogelijkheden. Maar voor veel mensen zal het toch een huiveringwekkend idee zijn dat het mogelijk is in te grijpen in erfelijk materiaal van de mensen. Valerio: "Ik kan me dat wel voorstellen. Als er nieuwe dingen bedacht worden die ingrijpen in de perceptie van hoe we in elkaar zitten, moet je daar voorzichtig mee omgaan, dat is duidelijk. Waar we nu over spreken, definiëren we als somatische cel-gentherapie; we beperken ons tot het genetisch veranderen van cellen die niet doorgegeven worden aan nakomelingen. We genezen dus cellen die door de erfelijke afwijking zijn getroffen. Het is absoluut niet de bedoeling om de cellen die voor voortplanting zorgen, de eicellen en de zaadcellen, ook van het gen te voorzien. Dat zou je kiembaangentherapie kunnen noemen en dat is iets waar op dit moment in geen enkel laboratorium serieus aan wordt gedacht, vanwege de grote ethische bezwaren die daaraan kleven. En er is nog iets anders. Zelfs als het zou kunnen moet je je realiseren dat dergelijke ingrepen consequenties kunnen hebben voor alle nakomelingen. Ongewenste bijeffecten van de therapie zouden dan nakomeling na nakomeling blijven bestaan. Een dergelijk risico zal geen enkele wetenschapper nemen."

NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:

Boechtstraat 15,
1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:

R.A. Bodden-Welsch.

Telefoon: 0(0-31)43 254044.

Telefax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonneementen:

0(0-31)43 254044 (tot 21.00 u, óók in het weekend).

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK.

Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31)43 254044.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 112,50 of 2200 F. Voor drie jaar: f 265,— of 5195 F. Prijs voor studenten: f 85,— of 1660 F.

Overige landen: + f 35,— extra porto (zeepost) of + f 45,— tot f 120,— (luchtpost).

Losse nummers: f 10,95 of 215 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:

Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

De dinosauriërs komen terug!

Tentoonstelling: 'Dinosauriërs in Leiden', Het Pesthuis, Pesthuislaan, Leiden. Het Pesthuis ligt direct achter het Centraal Station en naast het Academisch Ziekenhuis. 28 juni tot en met 28 oktober. Openingstijden: Alle dagen van 10.00 tot 17.00 uur. Toegangsprijzen: volwassenen f 9,-, kinderen t/m 12 jaar en 65+ f 5,-. Groepen vanaf 10 personen kunnen 25 % korting krijgen. Met een Trein + Toegang-biljet heeft men korting op de reis en toegang.

Het Nationaal Natuurhistorisch Museum houdt van 28 juni tot en met 28 oktober een spectaculaire tentoonstelling in het Pesthuis in Leiden. Er zullen meterslange en -hoge, bewegende en brullende modellen te zien zijn van een aantal dinosauriërs uit diverse tijdperken van de geologische geschiedenis. De dinosauriërs zijn

gemaakt door het Amerikaanse bedrijf *Dinamation*, aan de hand van de meest recente wetenschappelijke gegevens.

De reptielen domineerden de aarde gedurende een periode van maar liefst 140 miljoen jaar, in de geologische perioden Jura en Krijt. Er waren duizenden soorten die op alle denkbare manieren op het land leefden. Volgens de nieuwste inzichten waren vele van deze reptielen warmbloedig in staat hun lichaamstemperatuur op peil te houden en hadden zij een duidelijk getekende en gekleurde huid. Sommige soorten waren angstaanjagende vleeseters met verscheurende tanden en klauwen zoals de beruchte *Tyrannosaurus rex*, het grootste roofdier dat ooit op het land heeft geleefd. Andere soorten waren vreedzame, maar reusachtige, planteneters.

Ongeveer 65 miljoen jaar geleden

stierven de dinosauriërs in zeer korte tijd uit. De geleerden proberen er nog steeds een verklaring voor te vinden. Van de eens zo talrijke groep van reptielen kennen wij tegenwoordig alleen nog hagedissen, slangen, krokodillen en schildpadden. De echte erfgenamen van de dinosauriërs zijn eigenlijk de vogels. Op de tentoonstelling *Dinosauriërs in Leiden* zijn vijftien modellen van acht verschillende soorten te zien. Ook zijn er enkele baby-dinosauriërs aanwezig. De tentoonstelling voorziet in achtergrondinformatie over de leefwijze van deze dieren. Overigens zal het museum *Natura Docet* te Denekamp in 1991 een tentoonstelling organiseren waarin geen modellen maar echte overblijfselen kunnen worden bekeken.

(Persbericht Nationaal Natuurhistorisch Museum, Leiden)



Brullende dinosauriërs verbazen de toeschouwers.

Met de Shuttle mee

Ooit gedroomd ruimtevaarder te zijn? Ooit gedacht mee te kunnen met de Space Shuttle? Ooit vermoed dat de lancering van een Shuttle vanaf Kennedy Space Center zo'n ontzettend lawaai veroorzaakt? Deze dromen — maar nog veel meer — kan men meemaken met de onlangs in première gegane IMAX-film *The dream is alive*.

Deze film geeft een heel indringend beeld van wat een ruimtevaarder allemaal meemaakt tijdens een Shuttle-vlucht en wat er allemaal aan zo'n vlucht voorafgaat. Het trainingsprogramma, lanceringen en landingen, de experimenten die de bemanning uitvoert (eigenlijk zijn de opnames van drie vluchten verwerkt in één film), hoe de bemanning werkt, eet, zich ontspant en slaapt. Vooral de beelden van het lanceren van satellieten en het binnenhalen van een kapotte satelliet om

deze te repareren, komen als science-fiction over; alleen zijn het nu science-facts! Ook opnamen van de aarde trekken aan het oog voorbij: de besneeuwde Alpen, gevolgd door Italië van noord naar zuid, Kreta en eindigend boven de barre woestijn van Egypte, doorsneden door de vruchtbaarheid brengende rivier de Nijl.

Alle opnamen zijn gemaakt door de bemanning zelf met de 81 kg zware IMAX-camera. Voor het bedienen daarvan volgden ze een training van een half jaar, met als resultaat dat een kwart van het ruwe materiaal in de film is verwerkt (voor een gewone bioscoopfilm wordt vaak meer dan 95% weggegooid).

Tijdens de vluchten werden ook diverse experimenten uitgevoerd, waarvan enkele ook in de film figureren. Zo komt een experiment in beeld waarin wordt geprobeerd geneesmiddelen onder gewichtloosheid te maken. Ook laat men zien hoe bijen onder deze omstandigheden een honingraat ma-

ken. Alleen blijven we in het ongewisse over de uitkomst van beide experimenten. In het Nederlandse commentaar bij deze film had dit gemakkelijk kunnen worden verwerkt.

In het voorprogramma *Picture Holland — Holland op zijn breedst*, de eerste Nederlandse IMAX-film met een aantal shots van typisch Nederlandse locaties en gebeurtenissen. Daarvan blijft vooral van de scènes in de achtbaan in De Efteling en die van een landing van een Boeing 747 — gefilmd tussen de poten van het landingsgestel en geprojecteerd op het 400 m² grote scherm — een wee gevoel in de maag als herinnering achter.

De draaitijden van de film zijn: dinsdag t/m zondag 13.45, 16.00 en 19.00 uur. Zaterdag en zondag ook om 21.15 uur. Entree: f 13,-. IMAX-theater, Leuvehaven 77, Rotterdam. Telefoon voor gratis reserveren (aanbevolen): 010-404 88 44.

Jacques Verduijn



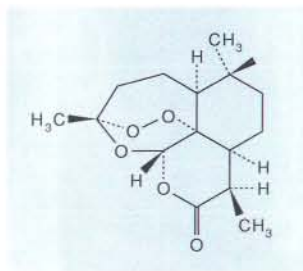
Commandant Hartsfield en piloot Coats in de cockpit van de Discovery in 1984.

Artemisia in de slag tegen malaria

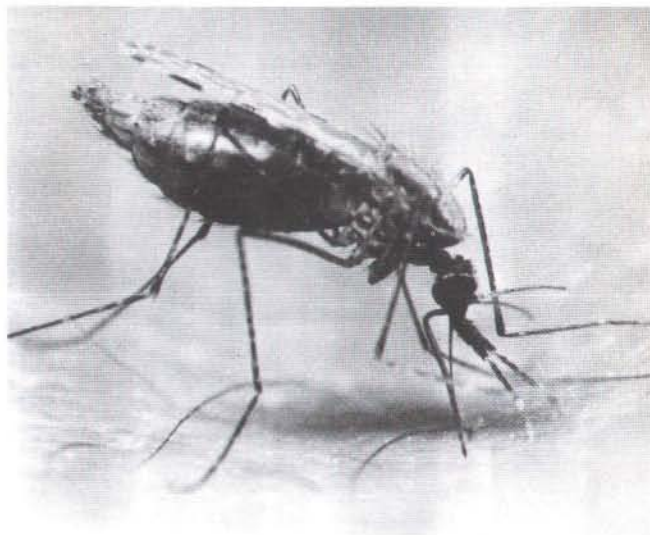
Onderzoekers van het farmaceutisch bedrijf ACF hebben, samen met onderzoekers van diverse Nederlandse universiteiten, verbindingen uit de plant *Artemisia annua* L. (Compositae) geïsoleerd die zij willen gaan gebruiken als geneesmiddel tegen malaria. Er is grote behoefte aan een nieuw anti-malaria-medicijn omdat de malariaparasiet resistentie vertoont tegen kininederivaten.

De *Artemisia annua* is een sterk geurende éénjarige plant die twee meter hoog kan worden. Zij is verwant aan inheemse planten als dragon en bijvoet en komt van nature voor in China, Noord-Vietnam, Siberië en Noord-Amerika. Al duizenden jaren worden groene delen en pas gevormde bloeiwijzen van deze plant medicinaal gebruikt: bij koorts, chronische dysenterie, abcessen, schurft en oogontstekingen.

In 1972 werden in China de anti-malaria-eigenschappen van deze plant opnieuw ontdekt. Een kristallijn extract van de plant, *qinghaosu genaamd*, bleek zowel bij geïnfecteerde dieren als mensen te werken, een lage giftigheid te bezitten en zeer effectief te zijn tegen de malariaparasieten *Plasmodium vivax* en *Plasmodium falciparum*.



De molekuulstructuur van *artemisinin*, een plantaardige verbinding die tegen de malariaparasiet kan worden ingezet. Muskieten verspreiden deze parasiet. (Foto: WHO, Geneve).



ACF introduceerde de plant in 1985 in Nederland. Sindsdien heeft men gewerkt aan het optimaliseren van de opbrengst van het gewas. Daarbij was de hoeveelheid winbare *artemisinine* een belangrijke leidraad. Deze verbinding lijkt namelijk de voornaamste werkzame component te zijn in de extracten.

Het artemisinine-molekuul is een sesquiterpeenlacton. Uit deze naam valt af te leiden dat dit terpeen is gevormd uit drie isopreeeenheden, en dat er een lactonbinding (cyclische esterbinding) in de structuur van het molekuul aanwezig is. Door de peroxydebrug ontstaat een extra ring. Mogelijk is deze peroxydebrug verantwoordelijk voor de werking van dit molekuul tegen de malariaparasiet.

Diverse derivaten van artemisinine blijken de werking van artemisinine te overtreffen. Deze stoffen kregen namen als artemether, arteether, natriumartesuaanaat en artelinezuur. Eigenschappen die bijdragen aan de geschiktheid van deze verbindingen zijn de

snelle absorptie in alle vitale organen van het lichaam – waarbij het maximale niveau in het bloed al na één uur wordt bereikt – en de biologische halfwaardetijd van vier uur.

In samenwerking met het Laboratorium voor Parasitologie van de Universiteit van Leiden doet men onderzoek dat moet leiden tot de snelle inzet van deze verbindingen in de strijd tegen malaria. In het Laboratorium voor Praktische Farmacie van de Universiteit van Utrecht onderzoekt men de optimale toedieningsvorm van de werkzame bestanddelen. Ook de vakgroep Fytochemie en Farmacognosie van de Rijksuniversiteit Groningen en de Afdeling Infectieziekten Tropische Geneeskunde van de Universiteit van Amsterdam zijn bij het project betrokken.

De Wereldgezondheidsorganisatie heeft inmiddels het belang van het onderzoek naar deze geneesmiddelen onderstreept.

(Persbericht ACF, Maarssen)

Lachgas en leukemie

De bioloog dr ir A.A.M. Ermens promoveerde onlangs aan de Erasmus Universiteit in Rotterdam op een onderzoek naar de betekenis van *cobalamine-inactivatie*, het inactiveren van vitamine B12, voor de vorming van normale en kwaadige bloedcellen. De diverse deelonderzoeken wazen uit dat lachgas een effect heeft op woekerende cellen. Bij ratten met leukemie resulteert lachgas-blootstelling in een vertraagde woekering van leukemische cellen zonder dat de normale bloedaanmaak wordt geremd. Nagenoeg alle vormen van menselijke leukemie blijken eveneens gevoelig te zijn voor lachgas.

Vitamine B12 speelt een belangrijke rol in de aanmaak van nieuwe bloedcellen. Een gebrek aan deze stof, bij voorbeeld door een slecht dieet of een ziekte, heeft bloedarmoede tot gevolg.

In 1926 stelden geleerden vast dat de consumptie van grote hoeveelheden lever deze vorm van bloedarmoede kon tegengaan. Chemici ontdekten dat vitamine B12 het werkzame bestanddeel in dit leverdieet was. Deze verbinding wordt voor een groot deel gemaakt door darmbacteriën en voor het overige opgenomen uit dierlijk voedsel. Aangezien een kobaltatoom aanwezig is in dit vitaminedeeltje, heeft vitamine B12 van wetenschappers de naam 'cobalamine' gekregen. Dorothy Hodgkin kreeg in 1964 de Nobelprijs voor de opheldering van de ruimtelijke structuur van het molekuul.

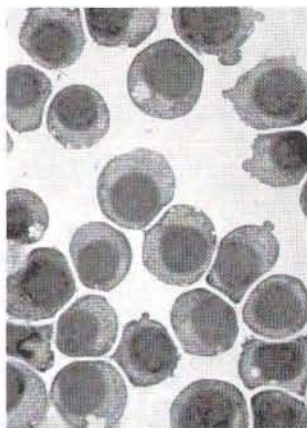
In 1978 ontdekten Britse artsen dat blootstelling aan lachgas (N_2O) leidt tot een verminderde werking van het in de mens aanwezige vitamine B12. Bij patiënten die gedurende langere tijd aan lachgas blootstonden bleken dan ook problemen bij de bloedaanmaak te ontstaan. Met name de

stagneerde, wat de kans op allerlei infecties vergrootte. Deze ontdekking veroorzaakte grote opschudding in de medische wereld: bij veel van de chirurgische ingrepen pasten de artsen bij de narcose lachgas toe. Later bleek dat de nadelige invloed van lachgas op de bloedaanmaak alleen optrad bij patiënten die een langdurige lachgasbeademing hadden ondergaan.

De invloed van lachgas op de bloedaanmaak (door middel van het inactiveren van vitamine B12) kan men misschien ook positief gebruiken. Bij leukemie, of bloedkanker, treedt een kwaadaardige woekering van witte bloedcellen op. Als normale witte bloedcellen onder invloed van lachgas minder groeien, dan kan de aanmaak van leukemische cellen wellicht ook met lachgas worden tegengegaan. Een verminderde aanmaak van deze kwaadaardige witte bloedcellen zou in hoge mate kunnen bijdragen aan een eventuele genezing van de patiënt.

Uiteraard kon men niet zomaar leukemiepatiënten met lachgas gaan behandelen. Allereerst moest men nagaan wat het effect is van lachgas op de normale bloedaanmaak. Daartoe onderzocht men de normale bloedaanmaak in het beenmerg bij patiënten die werden geopereerd met behulp van lachgasnarcose tijdens de ingreep. Uit dit onderzoek volgde dat bij operaties korter dan twaalf uur de schade die lachgas aan het beenmerg toebrengt minimaal is.

De klassieke methode voor het controleren is de beenmergpunctie. Aangezien deze methode pijnlijk kan zijn en de patiënt extra kan belasten, heeft men gezocht naar een alternatieve controle methode. Samen met onderzoekers van de universiteit van Bergen in Noorwegen stelde de



Mogelijk remt lachgas de aanmaak van kwaadaardige witte bloedcellen. (Foto: Sophia Kinderziekenhuis Rotterdam).

Rotterdamse onderzoeker vast dat de concentratie in het bloed van het aminozuur homocysteïne een goede indicatie van de activiteit van het vitamine B12 geeft. Als de werking van het vitamine B12 in het menselijk lichaam verstoord raakt, bijvoorbeeld door toediening van lachgas, dan zal de concentratie homocysteïne in het bloed snel stijgen. Deze concentratie is goed te meten. De onderzoekers verkregen op deze wijze de nodige informatie zonder patiënten in het beenmerg te moeten prikken.

Ermens concludeert tot slot dat lachgas-blootstelling kan worden gebruikt bij de experimentele behandeling van leukemiepatiënten. Hopelijk zal dan blijken dat lachgas inderdaad een belangrijke bijdrage levert aan hun genezing.

(Persbericht
Erasmus-universiteit Rotterdam)

Linksdraaiende pillen

Chemici in de Verenigde Staten hebben een methode ontwikkeld waarmee zij populaire geneesmiddelen veiliger en werkzamer maken. De methode bestaat uit het omzetten van de inactieve vorm van het geneesmiddel – maar liefst de helft van het totaal – in de werkzame verbinding. Veel geneesmiddelen bestaan uit twee verbindingen die elkaars spiegelbeeld zijn. In de meeste gevallen is maar een van de twee stoffen werkzaam. De methode is reeds met succes toegepast op ontstekingsremmers als ibuprofen en naproxen. Deze medicijnen worden met name toegepast bij reumatische kraakbeenontstekingen.

De onderzoekers, die werkzaam zijn bij het bedrijf Merck Sharp en Dohme, voerden hun experimenten uit met verbindingen die bestaan uit een chiraal mengsel: de twee moleculaire vormen van een verbinding zijn elkaars spiegelbeeld; we spreken ook wel van links- en rechtsdraaiende moleculen, door chemici omschreven als

de S- en de R-vorm.

Vaak is maar één van de twee spiegelbeelden werkzaam als geneesmiddel. In het gunstigste geval is de andere verbinding zonder enige werking, maar er zijn uit het verleden ook gevallen bekend waarin die stof, zonder dat de producent zich daar bewust van was, biologisch zeer actief was en ongewenste bijwerkingen veroorzaakte. In beide gevallen is de ongewenste vorm van het geneesmiddel te omschrijven als chemische ballast.

Een bekend en tragisch voorbeeld is het geneesmiddel thalidomide, of softenon, dat werd voorgeschreven aan sommige zwangere vrouwen. De S-vorm van het molecuul functioneerde uitstekend, maar de R-vorm bleek misvormde ledematen bij het ongeboren kind te veroorzaken.

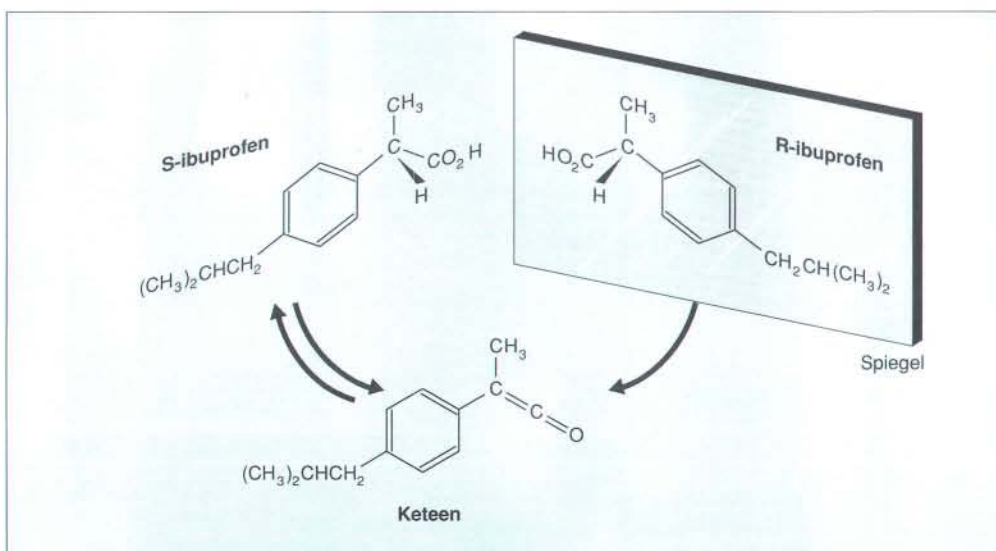
Robert Larsen en zijn collega's zetten ibuprofen, een derivaat van fenylpropionzuur, om in een voor 99% zuivere S-vorm. Daartoe laten zij het chirale mengsel reageren met thionylchloride en

trimethylamine. Daardoor ontstaat een keteen, waarvan de vorm onafhankelijk is van de draairichting van de oorspronkelijke verbinding.

Vervolgens laten de chemici in een organisch oplosmiddel (hexaan, heptaan of toluen) het keteen reageren met ethyllactaat, een natuurlijke α -hydroxy-ester die alleen voorkomt in de S-vorm. Ten slotte splitsen de onderzoekers met behulp van zuur ethyllactaat af, waarna het zuivere S-ibuprofen overblijft.

Na 1992 zal in de Verenigde Staten een nieuwe regeling van kracht worden. Dan zullen farmaceutische bedrijven niet alleen moeten bewijzen dat de actieve vorm van het geneesmiddel werkzaam en veilig is, maar ook dat het gespiegelde molecuul onschadelijk is. De methode zal een belangrijke rol kunnen spelen als farmaceutische bedrijven gaan proberen om alleen werkzame verbindingen te produceren.

(New Scientist)

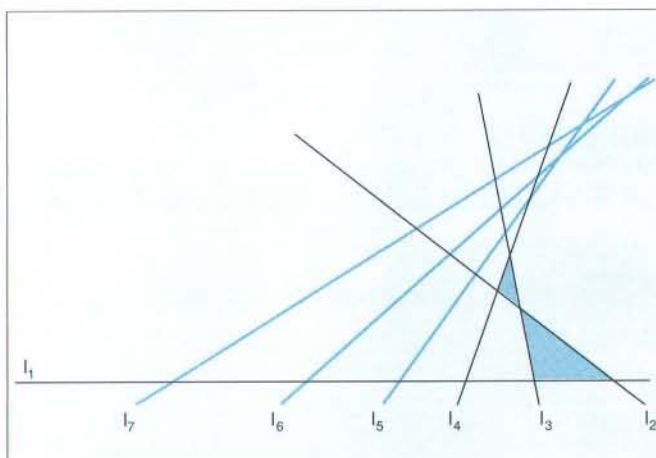


PRIJSVRAAG

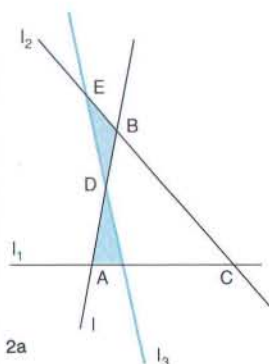
Oplossing april

Terwijl de vogels vrolijk op de touwtjes zitten en het zaaigoed verorberen, heeft de professor het probleem opgelost met de n lijnen die elkaar twee aan twee snijden.

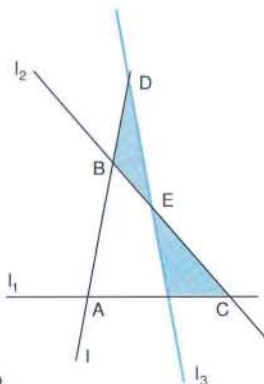
Zoals bekend gaan er geen drie lijnen door één punt. De lijnen verdelen het vlak in $1 + 1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{1}{2}n(n+1) + 1$ delen. De professor plaatst nu een denkbeeldige cirkel waar alle veelhoeken in liggen. Deze cirkel snijdt elk van de lijnen in twee punten en gaat door alle niet-eindige delen waarin de n lijnen



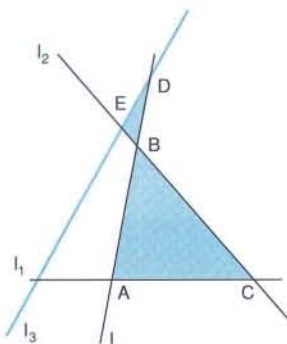
1



2a



2b



2c

het vlak verdelen. Telkens als de cirkel een lijn passeert, komt hij in een ander vlakdeel. Het aantal niet-eindige vlakdelen is dus $2n$, zodat het aantal veelhoeken gelijk is aan $\frac{1}{2}n(n-3) + 1$.

Als er reeds n lijnen zijn getrokken, dan wordt bij het toevoegen van de $n + 1^e$ lijn het aantal driehoeken vermeerderd met ten minste 1. Voor $n = 4$ is het aantal driehoeken gelijk aan twee. Afbeelding 1 laat zien hoe men steeds weer een nieuwe lijn kan toevoegen zodat het aantal driehoeken iedere keer met één wordt vermeerderd. Voor n lijnen ($n \geq 3$) is het minimum aantal driehoeken dus $n - 2$.

Het is ook mogelijk om te bewijzen dat als er reeds n lijnen ($n \geq 3$) zijn getrokken en we een $n +$

1^e lijn toevoegen, dat het aantal driehoeken met ten minste één vermeerderd.

In afbeelding 2 stelt 1 de $n + 1^e$ lijn voor. De twee reeds getrokken lijnen, l_1 en l_2 , sluiten met 1 een driehoek ABC in. Dit is een nieuwe driehoek, tenzij er reeds een getrokken lijn l_3 is die de driehoek ABC verdeelt (afb. 2a en 2b) of er reeds een getrokken lijn l_3 is die met l_1 en l_2 een driehoek insluit waarvan driehoek ABC een deel is (afb. 2c).

In alle gevallen ontstaat daardoor een driehoek BDE waarvan twee hoekpunten op 1 liggen. Dit is een nieuwe driehoek, tenzij...

Zo kunnen we doorgaan, totdat l_n is toegevoegd. Dan is er geen 'tenzij' meer, omdat er geen lijn meer over is. Zodat driehoek

BDE alleen maar een nieuwe driehoek kan zijn. Hiermee is bewezen dat er voor $n = 4$ minimaal twee driehoeken zijn en voor $n = 5$ het aantal driehoeken minimaal gelijk is aan drie.

De top van de competitieladder is deze maand bereikt door M. Nijmeijer uit Zwijndrecht, die daarmee een jaarabonnement op Natuur & Techniek heeft gewonnen. Na loting tussen de vele goede inzenders kwam A.H. Olde Bijvank uit Groningen uit de bus als winnaar van een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek.

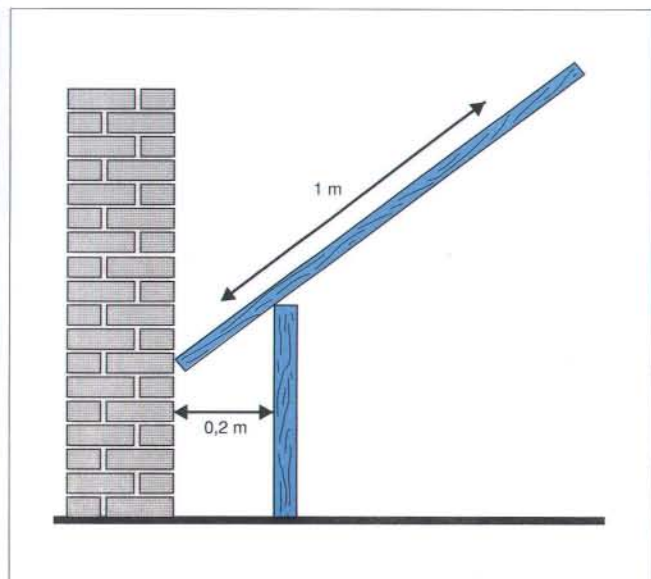
PRIJSVRAAG

De nieuwe opgave

Aangezien de vogels zich aan het zaaigoed te goed doen en de katten op de vogels loeren, besluit de professor een hond in huis te nemen die de orde in de tuin moet handhaven. Uiteraard wil hij voor de trouwe viervoeter een hondehok bouwen.

De professor moet het hondehok helemaal alleen in elkaar zetten. Hij kan natuurlijk niet alles tegelijk vasthouden. Daarom besluit hij enige natuurkundeformules van stal te halen om het karwei gemakkelijker te klaren.

De professor wil een plank met lengte a laten steunen op een paaltje (punt P) en met één uiteinde tegen de muur. Hij wil de plank in evenwicht laten hangen terwijl hij naar spijkers en hamer zoekt. De wrijvingscoëfficiënt f (de verhouding tussen de wrijvingskracht en de normaalkracht, $F_w = f \cdot N$) is 0,3. De plank is één meter lang en de afstand tussen het punt P en de muur is twee decimeter. Voor welke hoeken tussen de plank en het paaltje hangt de plank in evenwicht?



De puzzelredactie verloot onder de goede inzenders een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek. De goede inzenders verdienen bovendien punten voor de laddercompetitie. Iedere maand belooft de puzzelredactie het hoogste aantal punten in deze competitie met een jaarabonnement op Natuur & Techniek.

De puzzelredactie verwacht de oplossing van deze opgave, die ons ter beschikking werd gesteld door de Stichting Natuurkunde Olympiade Nederland, uiterlijk 30 juni 1990 op het adres:

Natuur & Techniek
Puzzelredactie
Postbus 415
6200 AK MAASTRICHT

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

V=I.R

Drs W. Boelhouwer

Toen Volta rond 1800 de eerste batterij maakte, kwamen 'galvanische stromen' binnen het gezichtsveld van de fysici. Nu kent iedereen begrippen als stroomsterkte, spanning en weerstand. Voor het zover was, hebben vele natuurkundigen moeizaam betrouwbare meetinstrumenten ontwikkeld en de juiste eenheden vastgesteld.



Zeilen

Ir J. van der Baan

Sinds de energiecrisis aan het begin van de jaren zeventig, staat het gebruik van de wind als duurzame energiebron voor de aandrij-

ving van schepen weer in de belangstelling. De motivatie voor het ontwikkelen van een moderne zeiltechnologie komt inmiddels niet alleen voort uit economische, maar ook uit milieu-overwegingen.



Bloemkleuren

Prof dr J. Mol

Een bloem is de bekroning van een plant. De instructies voor de aanmaak van bloemkleurstoffen liggen in genen op het DNA. Nu het

mogelijk is nieuwe genen aan een plant te geven of bestaande uit te schakelen, zijn bloemen extra mooi voor genetici. De effecten van hun experimenten kunnen zij aan een bonte ruiker beoordelen.



Lijmen

Dr ir E. Logtenberg

Lijmen is een moderne verbindingstechniek in onder andere micro-elektronica en ruimtevaart. De oude Egyptenaren kenden het sap van acacia's als lijm, de arabische gom. Met de opkomst van de moderne lijmen, zoals polyesters, epoxy's en acrylaten, heeft het lijmen voor hoogwaardige toepassingen een hoge vlucht genomen.



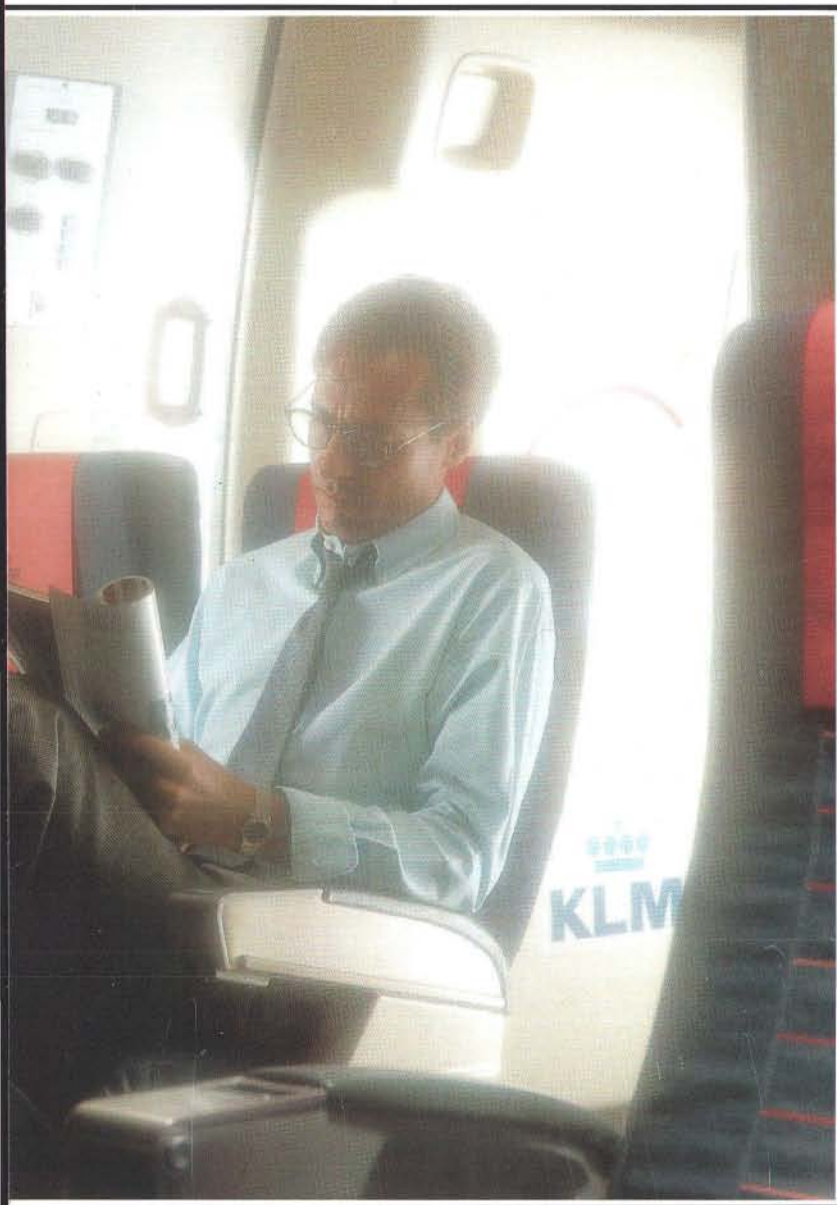
Begrazing

Drs H. Hillegers

Binnenkort dreigt zelfs het beeld van koeien in een weiland te verdwijnen, zoals dat van de schaapherder en zijn kudde al lang tot het verleden behoort. Natuurbeschermers hebben beweiding echter herondekt. Het blijkt een prima manier om bloemrijke velden in hun oude glorie te herstellen of nieuwe natuurwaarden te scheppen.



Ik vlieg Ams-NY nooit alleen...



Hij leest z'n kranten. Hij kijkt – gedwongen selectief – televisie. Hij hoort wel eens radio. Hij kent z'n magazines. Maar als hij het écht wil weten, dan pakt hij z'n vakbladen. Die gaan door waar de algemene media moeten ophouden. Daar is hij met kollega's onder elkaar. Daar toetst hij z'n eigen aanpak. Daar haalt hij uit redactie en reclame informatie waar hij mee uit de voeten kan. En daar komt hij nog eens op een produktief ideeetje. Tuurlijk. Ze lezen over het algemeen niet zo luchtig als iets vluchtigs. Waar tegenover staat, dat AMS-NY op die manier een stuk vlugger gaat.



'N BLAD IS EEN RELATIE.